

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA



**MÁSTER UNIVERSITARIO EN
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
TRABAJO FIN DE MÁSTER**

CURSO 2020~2021

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE GEOVISUALIZACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE
MODELADOS DEL TERRENO Y ANIMACIONES 3D**

**APPLICATION OF GEOVISUALIZATION TECHNIQUES FOR THE ELABORATION
OF TERRAIN MODELS AND 3D ANIMATIONS**

TERESA BEAS ALCALDE

CONVOCATORIA: SEPTIEMBRE 2021

TUTOR: Luis Miguel Tanarro García

Departamento de Geografía. Facultad de Geografía e Historia

RESUMEN

En los últimos años las tecnologías 3D han suscitado el interés de diversos sectores debido a las múltiples posibilidades que presentan, permitiendo la apertura de nuevos caminos profesionales y enriqueciendo las técnicas de representación espacial. Este trabajo es una aproximación a la creación de entornos tridimensionales y su visualización a través de diferentes métodos y técnicas englobadas dentro del concepto de geovisualización 3D: modelización, iluminación, renderizado y composición audiovisual. Para llevar a cabo este estudio se ha hecho uso del software de modelado 3D Blender con el que se han elaborado cuatro ejemplos que aportan una muestra de las diferentes tipologías de visualización: recreación del paisaje marciano, recreación de un paisaje natural ficticio con estructura arquitectónica, obtención del modelo en 3D del área del lago *Issyk-kul* en Kirguistán y una modelización 3D del Sistema Solar complementada con una muestra audiovisual. Este trabajo final de máster pretende poner en valor el papel de los especialistas en Geografía y otras ciencias afines en la creación de modelos o espacios tridimensionales, no solo en el ámbito académico y científico, sino también en cualquier sector que requiera de la creación de entornos, como es el caso del sector audiovisual y de la industria del entretenimiento.

Palabras clave: Blender, BlenderGIS, Geovisualización 3D, Modelado 3D, Renderización, Texturas y Materiales.

ABSTRACT

Over the last few years 3D technologies have aroused the interest of different sectors due to the multiple possibilities they present, allowing the opening of new professional paths and enriching spatial representation techniques. This dissertation is an approach to the creation of three-dimensional environments and their visualization through different methods and techniques, included within the concept of 3D geovisualization: modeling, lighting, rendering and audiovisual composition. To carry out this study, 3D Blender modeling software has been used. In order to provide an overview of the different types of visualisation four examples have been chosen and elaborated on: recreation of the martian landscape, recreation of a fictional natural landscape with architectural structure, obtaining the 3D model of the *Issyk-kul* lake area in Kyrgyzstan and a 3D modeling of the Solar System complemented with an audiovisual sample. This final project aims to highlight the role of Geography specialists, as well as other related sciences, in the creation of three-dimensional models or spaces, not only in the academic and scientific field, but also in any sector that requires the creation of environments, as it is the case of in the audiovisual sector and the entertainment industry.

Keywords: Blender, BlenderGIS, 3D Geovisualization, 3D Modeling, Rendering, Textures and Materials.

Índice

	Pág.
1. Justificación y objetivos.....	4
2. Introducción. La representación del espacio tridimensional	
2.1. Concepto de modelo: evolución de la elaboración de modelos digitales del terreno.....	5
2.2. Técnicas digitales de visualización del terreno.....	10
2.3. Aplicaciones de la tecnología 3D.....	12
2.3.1. La cartografía en los videojuegos.....	13
a. Cartografía ambientada en periodos históricos.....	14
b. Cartografía ambientada en localizaciones reales.....	15
c. Cartografía de mundos ficticios.....	16
d. Cartografía de ambientación futurista.....	18
3. Capacidades del software Blender para la representación del terreno y el modelado 3D.....	19
3.1. Complemento BlenderGIS.....	21
3.2. Materiales y datos complementarios empleados.....	22
3.3. Técnicas y métodos principales de visualización de objetos.....	23
3.3.1. Iluminación.....	24
3.3.2. Materiales y texturas.....	25
3.3.3. Renderizado	26
3.3.4. Edición de video	27
4. Proceso de elaboración de los modelados 3D y resultados obtenidos.....	28
4.1. Recreación virtual de paisaje marciano.....	28
4.2. Recreación de paisaje virtual natural y estructura arquitectónica	39
4.3. Obtención del modelo 3D a través del complemento “BlenderGIS”.....	46
4.4. Modelización 3D del Sistema Solar.....	52
5. Conclusiones y futuras líneas de investigación.....	57
6. Bibliografía.....	59
7. Anexos.....	66

1. Justificación y objetivos

Las posibilidades de las tecnologías 3D en diferentes áreas de conocimiento, tales como la investigación médica, la ingeniería o la industria audiovisual siguen creciendo día a día, sin embargo, aún no se ha valorado suficientemente el trabajo de los geógrafos en relación a su capacidad para producir materiales 3D en algunos de esos sectores. En concreto, este trabajo fin de máster pretende reivindicar la figura del creador de modelados 3D o entornos virtuales tridimensionales, como es, por ejemplo, la representación del terreno o de la superficie terrestre, asociado generalmente al campo de la Geografía, aunque también a otros relacionados con las ciencias de la tierra. En la industria audiovisual este papel lo asumen profesionales muchas veces ajenos a estas áreas de estudio: técnicos provenientes del ámbito de la programación, o del diseño gráfico. Es un geógrafo (o simplemente desconocen las oportunidades que ofrece este sector de la modelización y animación 3D). No obstante, los conocimientos y experiencia de los geógrafos, familiarizados con el uso de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), pueden enriquecer al sector al recrear modelos 3D de la superficie terrestre más precisos y realistas. Por ejemplo, muchas elaboraciones cartográficas de videojuegos actuales requieren que los modelos digitales del terreno en 2D y 3D que se utilizan sean tan detallados como los que se utilizan para los sistemas de información geográfica profesionales. En este sentido, una tarea que podrían desempeñar los geógrafos y especialistas en el uso de herramientas SIG o CAD, sería preparar modelos de datos complejos para los desarrolladores o diseñadores de videojuegos y utilizar tanto la teoría como la práctica de la cartografía, así como la geoinformación, con el objetivo de mejorar la funcionalidad de los productos desarrollados (Gotlib y Chądzyńska, 2016).

De igual modo, en el campo de la docencia cada vez es más frecuente el empleo de materiales 3D. De esta forma los geógrafos estarían capacitados para elaborar materiales 3D didácticos que podrían ser utilizados por los docentes.

A partir de estas breves consideraciones, este estudio tiene como objetivo explorar las posibilidades que ofrecen los programas de modelado 3D para la preparación de materiales o productos con información geoespacial, aplicando diferentes técnicas o herramientas de representación y visualización, y que se encuadran dentro del campo de las tecnologías cartográficas de geovisualización o visualización geográfica (Slocum et al., 2009).

Para la elaboración de los materiales se ha elegido el software gratuito de modelado 3D Blender (<https://www.blender.org/>) que incluye diferentes herramientas para realizar modelados, animaciones y creación de gráficos tridimensionales (<https://blender3d.es/>). Así, la propuesta de este TFM se centra, usando las funcionalidades del citado programa, en la recreación y animación virtual de diferentes tipos de paisajes, en la creación de modelos digitales del terreno a partir de datos geoespaciales, usando el complemento BlenderGIS, compatible con ArcGIS, y en la creación y edición de un video del Sistema Solar. En estos cuatro ejemplos se aplican diferentes técnicas y formas de visualización geográfica, tales como: modelización, iluminación, renderizado, edición de video, inclusión de objetos 3D y

obtención de modelos 3D a partir de *Google Earth*. Algunas de estas técnicas se aplicaron durante la realización del Máster en Tecnologías de la Información Geográfica: en la asignatura de Cartografía II, donde se utilizaron las herramientas de renderizado e iluminación del CAD MicroStation; en las asignaturas de SIG y Estudios Urbanos, donde se crearon videos con ArcScene o se generaron mapas dinámicos con ArcGIS, etc. Esta base teórica y práctica ha servido para crear los materiales o productos con Blender. Se ha elegido este programa, porque, además de ser gratuito, es de los más utilizados en el mundo del modelado y animación 3D.

Como se ha señalado, esta propuesta pretende poner el foco sobre las posibilidades laborales que ofrece la tecnología 3D a los geógrafos, así como a otros profesionales de campos afines, en la creación de entornos, ya sean naturales, artificiales, ficticios, etc. Este enfoque tecnológico en la formación de especialistas en el ámbito de los estudios geográficos es fundamental para diversificar las oportunidades que ofrece el mercado laboral, extremadamente tecnologizado y con una previsión de futuro extensiva a todos los sectores profesionales.

2. Introducción. La representación del espacio tridimensional

2.1. Concepto de modelo: evolución de la elaboración de modelos digitales del terreno

En el ámbito geográfico un modelo se define como una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades (Joly, 1988:111). Es decir, se muestra una versión de la realidad que solo mantiene algunas propiedades del objeto o sistema original. Con la modelización se realiza una generalización que reduce su complejidad para representar de forma más simple y directa espacios u objetos susceptibles de modelizar. Los modelos establecen una relación de correspondencia con la realidad de forma que su producción puede derivar en diferentes tipologías. J.C. Turner diferencia tres tipos de modelos básicos (Turner, 1979:364): los *modelos icónicos* en los que la relación de correspondencia se reduce a las propiedades morfológicas, como por ejemplo los mapas en relieve o las maquetas, donde esa relación es la reducción de la escala. Los *modelos análogos* presentan semejanzas con el objeto representado, pero sin llegar a ser una réplica en su forma. Un mapa es una representación de la realidad que se elabora a través de una serie de convenciones y que dan como resultado un producto muy diferente del objeto a representar. Por último, los *modelos simbólicos* reflejan un resultado con un alto grado de abstracción donde la realidad es una mera simbolización matemática (Felicísimo, 1994:3). Dentro de esta categoría se incluyen los *modelos digitales del terreno* (MDT) definidos como “un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio” (Doyle, 1978:1481).

Para analizar la tridimensionalidad de la cartografía actual es necesario comenzar por los *modelos icónicos* que han servido como base, así como de punto de partida para este tipo de representaciones. A lo largo de la historia la tercera dimensión en la representación del espacio ha sido de gran interés. Un ejemplo es la “*Losa de Saint-Bélec*” (fig.1a) hallada en

la Bretaña francesa a principios del siglo XX por Paul du Châtellier. Es la representación del terreno en 3D más antigua hasta el momento. Según estudios recientes data de principios de la Edad de Bronce (1900-1600 a.C). Una de las particularidades de este petroglifo es que presenta una serie de muescas que simulan el valle del río Odet en 3D, además de otras líneas que se asemejan a la red fluvial de la zona. A través de la geolocalización, se ha demostrado que verdaderamente es un ejemplo de cartografía real, ya que son identificables elementos del territorio como: “las montañas Negras”, “las colinas de Coadri” y “el macizo de Landudal” (fig.1b) (Nicolas et al., 2021).



Figura 1a. “Losa grabada de Saint-Bélec”. Esquisto color azul grisáceo. 2,2x1,53x0x16m. Fuente: Museo Arqueológico Nacional de Francia.

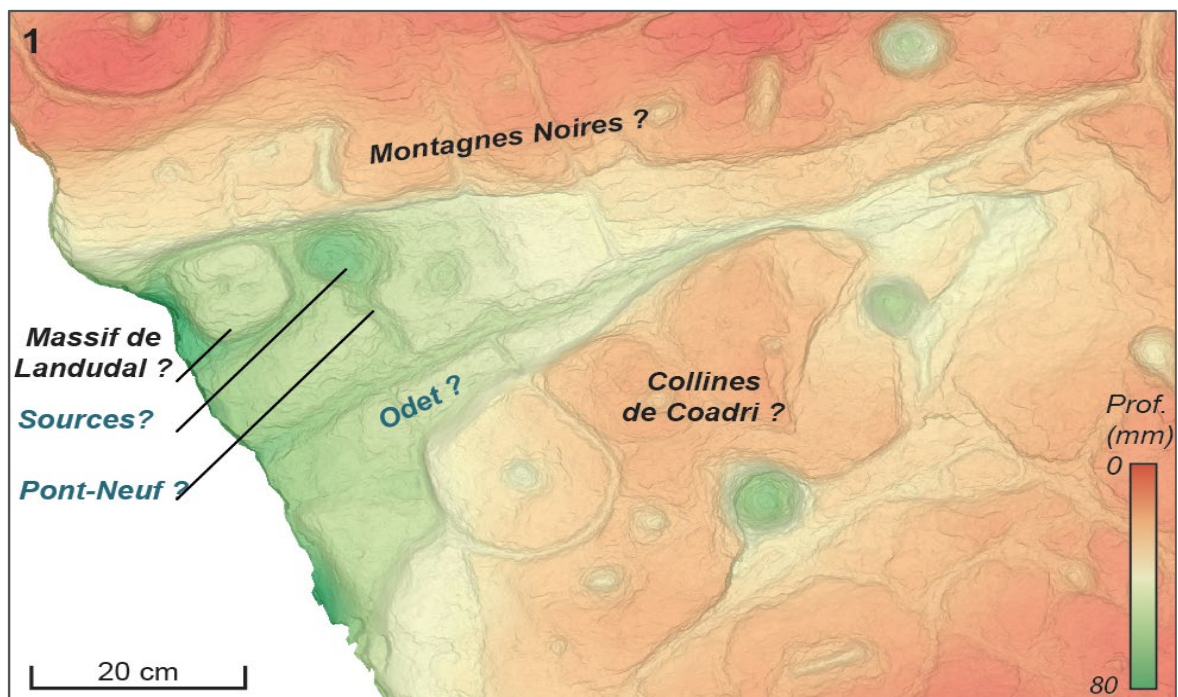


Figura 1b. Vista en detalle del DEM para la comparación entre los elementos de la losa de Saint-Bélec y la topografía actual. Fuente: Nicolas et al. (2021).

Al igual que la cartografía en su amplio concepto, los modelos tridimensionales del terreno o de las áreas urbanas tuvieron su momento de mayor esplendor a partir del siglo XVI. Creados con finalidad militar, estas representaciones se centraron sobre todo en la arquitectura (fortificaciones, ciudades, templos, etc.), sin embargo, se han encontrado ejemplos de mayor extensión ligados a la modelización de la topografía. Un ejemplo de esto

son los cuatro modelos de los Alpes encargados por el emperador Maximiliano I en el siglo XVI. En esos años, destaca el modelo en corcho de la ciudad de Florencia y su territorio circundante construido por Nicolò Tribolo y Benvenuto di Lorenzo della Volpaia en 1529, elaborado con la intención de ser entregado al Papa Clemente VII y así proporcionarle un soporte físico para seguir el asedio que sufría la ciudad por entonces. En la obra, *Las vidas de los más excelentes arquitectos, pintores y escultores italianos desde Cimabue a nuestros tiempos*, de Giorgio Vasari (1550), son numerosos los ejemplos de modelos citados en las biografías de los artistas, siendo así Italia, y en particular Venecia, el centro neurálgico de la modelización del relieve a mediados del siglo XVI. A partir del siglo XVIII, tanto Italia como Francia fueron centros de producción de modelos tridimensionales, producciones que no eran accesibles para el público en general, ya que eran de uso militar y su utilización estaba restringida a ese ámbito. En Francia, el monarca Luis XVI también manifestó su interés por estas recreaciones y mandó construir a Sebastien Vauban, ingeniero militar, modelos de construcciones, fortificaciones de posibles enemigos, así como de áreas montañosas (ETH Zurich, 2014). Desde finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX se desarrollan diferentes modos de representación plástica del relieve: las vistas, las panorámicas y los modelos o maquetas del relieve. Todas estas representaciones darán paso al llamado “bloque diagrama”. Según Martínez de Pisón y Castañón Álvarez:

Los mapas fisiográficos y los bloques diagrama (...) constituyen un documento gráfico (...) fácilmente comprensible por un público no especializado. Desde ese punto de vista, estas imágenes han constituido hitos muy importantes en el conocimiento geomorfológico del mundo y en su divulgación. Nacen con las interpretaciones modernas del relieve, a partir de la segunda mitad del siglo XIX, y adquieren lógicamente énfasis con el cambio de centuria con William Morris Davis, por la entidad científica que éste otorgó a la geomorfología, por la importancia que confirió a los bloques diagrama para la expresión de las formas y su evolución cíclica (...) (Martínez de Pisón, Castañón Álvarez, 2006:101-102).

Davis recogió la tradición artístico-científica de finales del siglo XIX (los primeros bloques diagrama fueron una representación del “Monte Ellsworth” en la Antártida, realizado por Peale en 1872 y el de las “Montañas Uinta” en Utah dibujado por Gilbert en 1876) y la desarrolló hasta convertirla en lo que hoy se conoce como “bloque diagrama”. En Francia a principios del siglo XX, Emmanuel de Martonne continúa desarrollando las ideas de Morris, que sobre todo se difundieron en Europa a través de Alemania. Será en el periodo de entreguerras (1919-39) cuando se normalice el uso del “bloque diagrama” (ejemplo de ello es la representación de la evolución de los Apalaches centrales de Erwin Raisz de 1932). Con la normalización del uso del “bloque diagrama”, esta técnica se empieza a utilizar para estudios tectónicos, estratigrafía, paisaje, etc. Como señalan Pisón y Castañón sirven para, “explicar una secuencia temporal o espacial de una estructura o de un relieve, con sentido de la animación de los procesos y de la simplificación de las formas” (Pisón y Castañón, 2006:116). En este periodo de entreguerras se sistematiza el “bloque diagrama” como un importante recurso gráfico en diferentes atlas geográficos o geológicos (por ejemplo, Lobeck, 1932). En guías de viaje de la época también se normaliza el empleo de los “bloques

diagrama” (Pisón y Castañón, 2006:117). En Europa, Suiza es el país que ha desarrollado con mayor calidad este tipo de representaciones. Es destacable la aportación de Edouard Imhof (Macizo del Sántis, *Terrain et carte*, 1951). En España el pionero de este tipo de representaciones es Juan Carandell (en colaboración con Hugo Obermaier), que publica “bloques diagrama” de la Sierra de Guadarrama en las décadas de 1910 y 1920. En los años 30 y 40 es Vidal Box (fig. 2) quien desarrolla esta técnica, que alcanzará su apogeo en España entre los años 40 y 60 del siglo XX, cuando en el extranjero resulta ya una tradición arraigada.

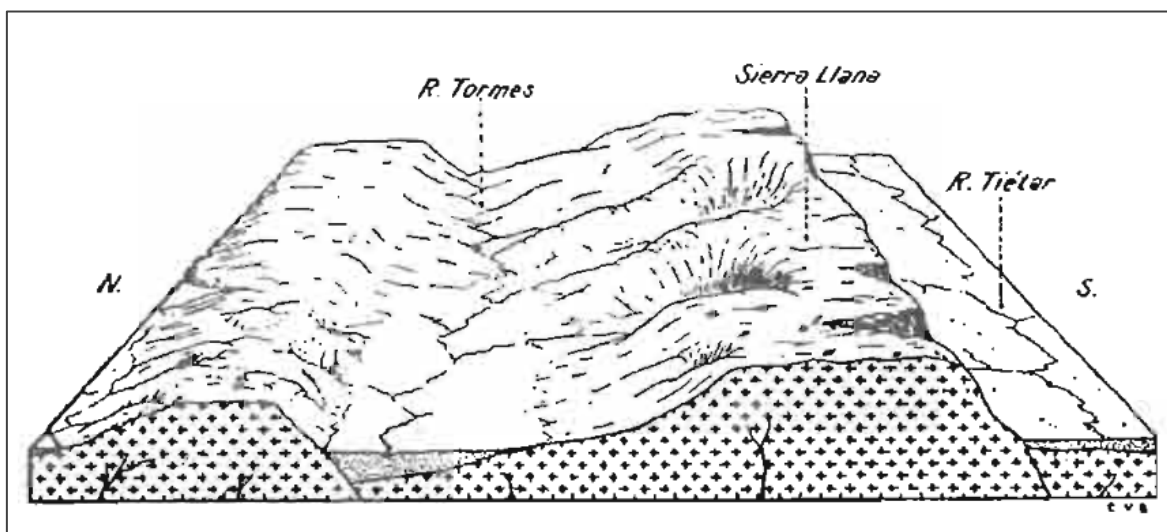


Figura 2. Bloque diagrama de la Sierra de Gredos. Vidal Box, 1936. Fuente: Martínez de Pisón y Castañón Álvarez, 2006.

Desde los años 70 este tipo de modelos en los trabajos geográficos empiezan a disminuir, aunque se continuarán publicando manuales como la “Geomorfología General” de Julio Muñoz, en los que se hace uso de esta técnica (Edit. Síntesis, 1992). Pisón y Castañón destacan en su artículo dos elementos fundamentales de los “bloques diagrama”: por un lado, su valor educativo y, por otro, su valor artístico. Con la aparición de técnicas informáticas en los años 80 los “bloques diagrama” sufren modificaciones, aunque todavía hoy siguen siendo una “útil herramienta de campo”. Según Pisón y Castañón:

Siguen, pues, conviviendo técnicas antiguas y modernas, mejorándose mutuamente. Incluso, las técnicas actuales tienen recursos para imitar los estilos tradicionales. Por ejemplo, el clásico y consagrado dibujo a plumilla de los relieves alpinos, al que guías montañeras y trabajos morfológicos han sido voluntariamente fieles, puede ser realizado con recursos del ordenador sin necesidad de dotes de dibujante por parte del usuario. Es una aceptación de valores, pero no es sino una imitación mecánica. Cada vez valdrá más, en cambio, por rara, la aportación personal (Pisón y Castañón, 2006:140).

Durante el siglo XIX el modelado del terreno se perfeccionó gracias a los avances en las técnicas cartográficas, el empleo de mapas de isohipsas, la aparición de la fotografía y la exploración del medio alpino.

Todos estos factores se sumaron al floreciente interés científico de la época. De esta forma se desarrolló otro método de fabricación en serie de modelos, creado por el cartógrafo alemán Karl Wenschow mediante la utilización del pantógrafo a principios del siglo XX. La invención de esta herramienta, a finales de siglo, hizo que elaborar modelos tridimensionales a partir de un bloque de yeso y guiado por un mapa de isohipsas fuera fácil y con resultados ajustados a la realidad (ETH Zurich, 2014). Posteriormente, durante la Segunda Guerra Mundial, los franceses elaboraron modelos tridimensionales de territorios alemanes para ayudar a los aliados. Esta producción se realizó durante la etapa de ocupación con gran riesgo para los técnicos que los elaboraban. En Estados Unidos e Inglaterra el pantógrafo no estaba muy extendido, por lo que se utilizaban otros métodos como el de la cinta (*ribbon method*) o el de la caja de huevos (*Egg-crate method*) (fig. 3).

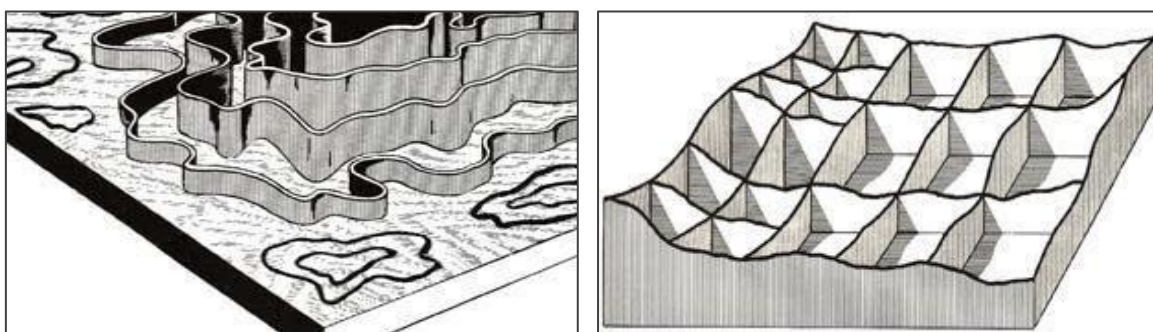


Figura 3. Método de la cinta (izquierda) y método de la caja de huevos (derecha). Fuente: United States Department of the Army, 1956. ETH Zurich. (2014).

Estos dos métodos eran fáciles y rápidos en cuanto a la producción, aunque carecían de la exactitud del método de capas (más laborioso). Estos modelos fueron muy útiles, ya que ofrecían una vista panorámica instantánea para los pilotos de guerra.

Tras la Segunda Guerra Mundial en Estados Unidos se desarrolló un método que permitía la producción en serie mediante láminas de plástico, técnica que propició la reducción de costes. Este método aún se sigue utilizando, aunque con carácter artesanal.

El desarrollo tecnológico impulsó estas técnicas hacia el mundo digital, donde la tercera dimensión ya no era física sino virtual. Esto supuso la transformación en materia mediante la impresión 3D, tecnología que dio sus primeros pasos en los años 50, pero que hasta los años 80 no se consolidó con la aparición de la “estereolitografía” o “impresión 3D”, proceso creado por el estadounidense Chuck Hull, ingeniero físico que patentó una técnica que permitía la creación de un objeto 3D mediante ceros y unos, es decir, a través de imágenes (ETH Zurich, 2014). Por otro lado, la irrupción de los SIG, CAD supuso la elaboración de modelos digitales del terreno (o modelos digitales de elevación) con múltiples aplicaciones en Geografía y en otras ciencias de la tierra (geología, arqueología, etc.). Además, los SIG/CAD progresivamente incorporan herramientas para mejorar la visualización de los MDT o MDE. También han aparecido herramientas gratuitas para la visualización de los DEM con fines científicos (Dübel y Schumann, 2017). Y, recientemente, las tecnologías LiDAR o SfM (*Structure from Motion*, método fotogramétrico) permiten obtener MDE cada

vez de mayor resolución. Por otra parte, destaca la importancia de las impresoras 3D de bajo coste, disponibles comercialmente: capaces de utilizar datos morfológicos y topográficos, datos de radar, altimetría y modelos digitales del terreno y transformarlos en modelos 3D de alta precisión y con salida en variados soportes físicos en pocas horas, haciendo que los costes de mantenimiento a nivel usuario sean asequibles en comparación con sus inicios y popularizando su uso. Actualmente esta tecnología se ha extendido a todos los ámbitos: ingeniería, educación, medicina, alimentación, etc. Un ejemplo de esto es la creación en 2021 del primer puente de acero inoxidable impreso en 3D del mundo. Esta infraestructura se localiza en Ámsterdam, tiene unas dimensiones de casi 12,2 x 6,3 m y pesa casi 5 toneladas. El proyecto fue llevado a cabo por la StartUp holandesa “MX3D” con la colaboración del “Imperial College London” y el “The Alan Turing Institute” y se fabricó en menos de 6 meses (Business Insider: <https://www.businessinsider.es/abre-amsterdam-primer-puente-acero-impreso-3d-mundo-899923>).

2.2. Técnicas digitales de visualización del terreno

Las técnicas de visualización del terreno 3D tienen como base la información referida a las coordenadas x , y , z . El software modeliza un espacio matemático virtual definido por un sistema cartesiano conformado por tres ejes. Las coordenadas (0,0,0) marcan el origen de las líneas del eje. Este esquema define el espacio donde se ubican los objetos tridimensionales de la escena. El modelado tridimensional para representar el terreno ha sido una herramienta habitual para la cartografía, como señalan Horowitz y Schultz:

Three-dimensional (3D) terrain modeling has been a useful tool for cartography and geology since the first relief globes of Earth made in 1752 (Destombes, 1978). Custom-made relief globes of the Moon based on early telescopic and orbiter data were used extensively for planning the Apollo Moon landings. (...) Consequently, 3D image reconstructions have become a common tool for terrain modeling (Horowitz y Schultz, 2014).

En los últimos años, las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), en especial los Sistemas de Información Geográfica y el dibujo o diseño asistido por ordenador (CAD, *Computer-aided design*) han suscitado un gran interés en muchos sectores. Junto a navegadores como *Google Earth*, con la actualización y ampliación de sus funcionalidades, han propiciado que los usuarios reclamen cada vez más este tipo de representaciones o modelos 3D. Esta demanda no solo responde a una necesidad estética, sino que se ve influenciada por un entorno tecnológico donde el realismo y la tridimensionalidad es cada vez menos excepcional; este aspecto es visible en muchos sectores como el relacionado con el mundo audiovisual, videojuegos, educación, medicina, etc.

La evolución de las técnicas para la visualización del terreno o relieve en 3D ha presentado varios métodos. Así, siguiendo el trabajo de Ruzinoor et al. (2012a) se puede diferenciar, por un lado, el desarrollo de técnicas manuales para la visualización del terreno; y por otro

lado, con el desarrollo de software de SIG/CAD que permiten la producción de modelos digitales del terreno, se implementan métodos automatizados para visualizar el relieve en 3D. Dentro de las técnicas manuales ha sido común el uso de diversas representaciones cartográficas, que han recibido nombres como *molehill*, *hachure*, *hill shading*, *profile pictorial* y *block diagram*. Este tipo de representaciones se desarrollaron a finales del siglo pasado (Ruzinoor et al., 2012a) (fig. 4).

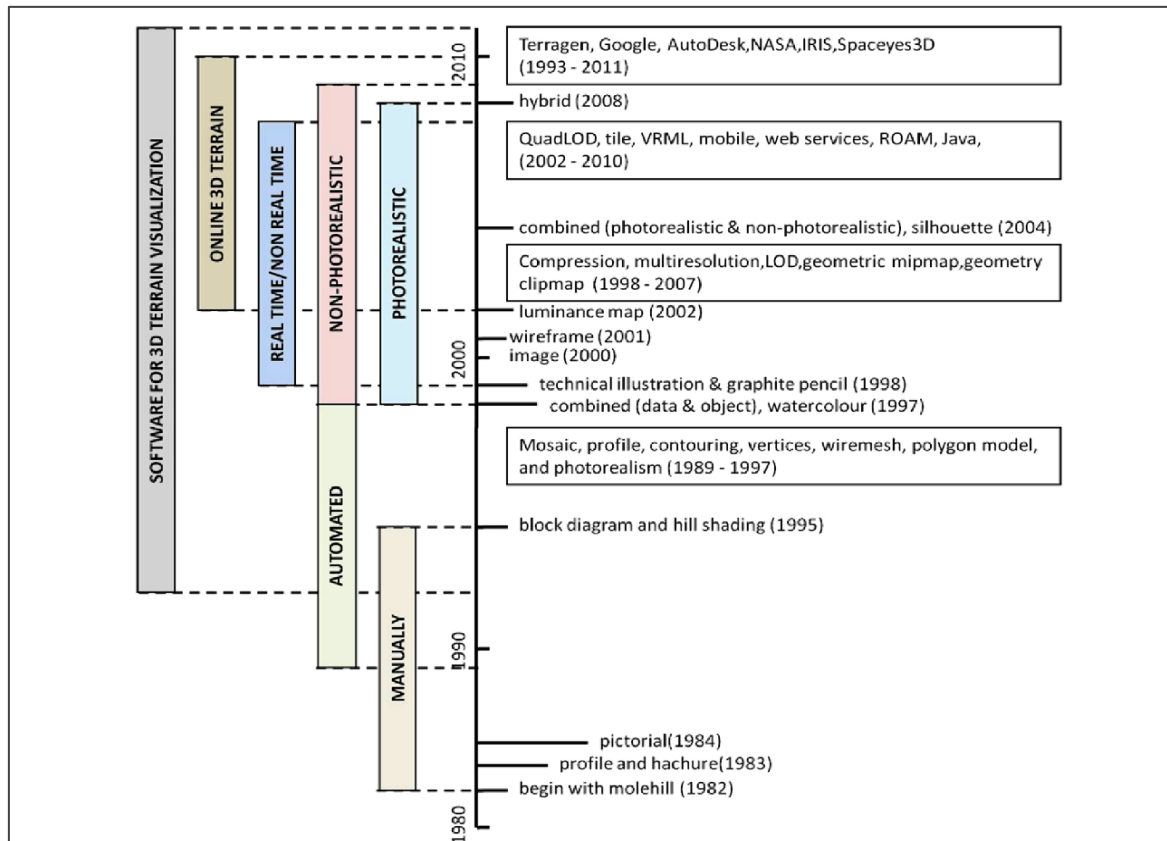


Figura 4. Evolución temporal de las técnicas de visualización 3D del relieve. Fuente: Ruzinoor et al. (2012a).

Por su parte, los métodos automatizados emplean técnicas que pueden generar automáticamente visualizaciones del terreno, mediante el empleo de *mosaic* (o la asignación de pseudo-colores a las celdas de la capa ráster), *pro-file*, *contouring*, *vertices*, *wiremesh*, *polygon model*, y *photorealism*. Además, estos métodos automatizados introdujeron y desarrollaron técnicas para la visualización fotorrealista del terreno. Algunas de ellas combinan algoritmos (terreno y datos) y otras implementan un enfoque híbrido multicapa. Más allá del fotorrealismo, otras técnicas populares entre los investigadores fueron los enfoques “NPR” (*nonphotorealistic rendering*). Al implementar estas técnicas, el terreno se puede representar en blanco y negro (non color). Hay algunas técnicas que parecen ser mejores para representar la pendiente del terreno en comparación con el fotorrealismo. Las técnicas que se pueden clasificar como NPR son: *watercolor*, *illustration*, *p-stroke*, *pencil*, *fog*, *luminance map*, and *silhouette* (Ruzinoor et al., 2012a; 2012b). Desde 1998 la visualización del terreno en 3D ha evolucionado de forma espectacular. Una de las razones

por las que estas técnicas son tan populares se debe a los navegadores geográficos como *Google Earth*, cada vez más utilizados por los usuarios. Por tanto, el auge en la actualidad del modelado 3D, que incluye la representación tridimensional de la superficie terrestre, ha propiciado la aparición de nuevos programas y la consolidación de otros softwares ya existentes para el modelado 3D, tanto de pago como gratuitos. Además de los programas comerciales y más específicos de SIG (ArcGIS) o CAD (AutoCAD, MicroStation, etc.) han aparecido en el mercado programas de modelado 3D que soportan o disponen de ciertas funcionalidades de los SIG/CAD y otras propias para crear modelos y animaciones 3D, como por ejemplo, Blender, Terragen, SketchUp, Autodesk Maya, Bentley LumenRT, FreeCAD, Rhinoceros 3D, Unity, Unreal Engine, etc. cuyas aplicaciones son múltiples en diferentes disciplinas, y no sólo en aquellas relacionadas con las ciencias de la tierra. Como concluye Ruzinoor:

La visualización del terreno en 3D implica el procesamiento de grandes conjuntos de datos. Por lo tanto, hoy en día muchas aplicaciones se centran en el aspecto del procesamiento para ayudar a la visualización en tiempo real. Los usuarios exigen más realismo en la visualización del terreno en 3D (Ruzinoor et al., 2012a).

2.3. Aplicaciones de la tecnología 3D

En la última década se ha experimentado un gran avance en todo lo referido a las tecnologías 3D. Ya no es un conjunto de procesos enfocados únicamente al sector del entretenimiento, sino que otras áreas se han servido de sus funcionalidades para mejorar aspectos de sus disciplinas o incluso han creado nuevas líneas de investigación. Los estudios que se centran en Geografía, como en otras disciplinas afines, tanto en su faceta investigadora como docente, también han hecho uso de los modelos 3D. La modelización de los territorios permite que la observación, el análisis y la gestión sea mucho más eficiente, ya que aporta una visión más completa y detallada del territorio. Esta modelización es de especial interés para estudios relacionados con el impacto ambiental, desastres naturales, cambio climático (Lewis y Hampton, 2015) y, asimismo, constituye un recurso educativo valioso (McCaffrey et al., 2003; Allen, 2008; Priestnall, 2009; Tanarro et al., 2020). Las técnicas de geovisualización 3D se aplican también en estudios urbanos, como por ejemplo en el trabajo de Vidal Domínguez et al. (2012) en el que se expone el concepto de geovisualización y se aplica en la exploración de patrones y relaciones espaciales en la ciudad de Madrid. Según este artículo:

La geovisualización se define como una parcela en la que se incluye la exploración visual, el análisis, la síntesis y la presentación geoespacial de datos, mediante la integración de diversos componentes que provienen de la cartografía, la visualización científica, el análisis de imágenes, el análisis exploratorio de datos, la “GIScience”, etc. (...) Según la ICA (International Cartographic Association), fue en 1995 cuando surgió el campo de la Geovisualización, el cual se centra (<http://geoanalytics.net/ica/>) en aquellos datos que la sociedad moderna necesita y que en gran medida contienen un componente geográfico (o, más generalmente, espacial). (Vidal Domínguez et al., 2012:216).

El modelado 3D y la posibilidad de obtener modelos digitales de elevaciones de alta resolución ha abierto nuevas líneas de investigación en el campo de la arqueología. No sólo en virtualización del patrimonio arqueológico, como puede ser, por ejemplo, la reconstrucción 3D de las pirámides de GIZA (Muñoz, 2020), sino también en el tratamiento de los modelos digitales de elevaciones para la exploración y detección de yacimientos. Cabe mencionar al respecto la herramienta “Relief Visualization Toolbox (RVT)” desarrollada por el *Institute of Anthropological and Spatial Studies*, del Centro de Investigación de la Academia de Ciencias y Artes de Eslovenia (<https://iaps.zrc-sazu.si/en/rvt#vel>), que incluye diferentes parámetros para visualizar modelos digitales de elevaciones con fines arqueológicos.

El turismo cultural también ha sido un sector beneficiado por estas tecnologías, como señala Schwalbe (2004):

En el mismo sentido, durante los últimos años se ha producido una irrupción en Internet de enlaces a “ciudades virtuales” (Virtual Cities) y un número importante de las mayores ciudades del mundo pueden visitarse virtualmente a través de internet en la actualidad. Al margen de las aplicaciones destinadas a la visualización, bien en local, bien “on line” a través de diferentes clientes web, visores y aplicaciones, un aspecto realmente interesante de este proceso es cómo la creciente demanda de información volumétrica sobre las ciudades y espacios urbanos está estimulando la masiva producción de estos datos. En este sentido, tecnologías como el Lidar o los nuevos desarrollos para la restitución 3D en fotogrametría digital, están proporcionando nuevos recursos para la producción de tales datos (Schwalbe, 2004).

Una muestra de nuevas y sugerentes tendencias en la geovisualización en la ciudad es la iniciativa del prestigioso *Massachusetts Institute of Technology: Senseable City Laboratory* (<https://senseable.mit.edu/>) (Ojeda, 2010).

2.3.1. La cartografía en los videojuegos

Se ha creído conveniente dedicar un apartado al modelado 3D que se elabora en el mundo audiovisual, en especial en la industria de los videojuegos, ya que como afirman Gotlib y Chądzyńska en su artículo “Maps in videogames: Range of applications” (2016) “un mapa constituye con frecuencia un elemento significativo de muchos juegos y especialmente de los videojuegos”. Y, es en este sector, donde los geógrafos con experiencia en el uso de las TIG podrían encontrar un nicho de empleo.

El sector audiovisual, liderado por la industria de los videojuegos, hace uso de la tecnología 3D, e incluso la ha hecho evolucionar. Es una de sus áreas clave y con un futuro cada vez más prometedor en cuanto a facturación y empleo generado. La gran mayoría de los videojuegos hacen uso de esta tecnología, sobre todo los del tipo *Sandbox* o juegos de mundo abierto, donde el entorno juega un papel fundamental en la dinámica lúdica. En los *Serious Games*, “juegos que tienen un propósito más allá del entretenimiento” (Abt, 1987:9), se

suelen utilizar modelos 3D para la recreación de situaciones ficticias, tales como gestión de crisis humanitarias, entornos bélicos o desastres naturales; un ejemplo de este tipo de aplicaciones es *Stop Disasters* (<https://www.stopdisastersgame.org/>) de UNDRR (*The United Nations Office for Disaster Risk Reduction*). Se trata de un videojuego de simulación educativo, creado con el objetivo de concienciar a los jóvenes sobre la prevención de desastres de todo tipo (inundaciones, huracanes, tsunamis, etc...). El jugador debe crear un medio ambiente seguro para el lugar donde vive, por lo que debe evaluar los riesgos de desastres e intentar minimizar los posibles daños. Muchas elaboraciones cartográficas de videojuegos actuales requieren modelos del terreno en 2D y 3D, de modo que, desde su origen en los años sesenta, existe una estrecha relación entre los videojuegos, los mapas y las Tecnologías de la Información Geográfica. Un ejemplo de juego con estas características es el fruto de la cooperación de un grupo de científicos del instituto de tecnología de Rochester con el “Instituto Universitario de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Dintner Product Design” de Nueva Zelanda y la Seguridad Humana en Bonn (Alemania); juntos desarrollaron un *serious game* en el que se emplea el software ArcGIS. El juego permite poner en práctica las habilidades del pensamiento espacial y puede servir como herramienta a personas responsables de la gestión de crisis en caso de desastre natural. En el juego hay un escenario en el que se liberan sustancias tóxicas en la orilla del Rin después de una inundación. Al usuario se le hacen una serie de preguntas y dependiendo de las respuestas, el software ArcGIS presenta diferentes resultados de análisis espaciales y diferentes presentaciones del efecto del desastre. En el caso de utilizar datos geoespaciales reales, el juego puede convertirse en una herramienta de formación útil para la gestión de crisis (Blochel et al., 2013). Si inicialmente los juegos se hacían principalmente para el entretenimiento, hoy en día también se han convertido en herramientas para alcanzar metas más prácticas y enfocadas a la solución de problemas reales, muchos de ellos de carácter espacial. Por lo tanto, se requieren datos de alta fiabilidad y medios efectivos de representación cartográfica. Muchos de estos juegos utilizan modelos digitales del terreno (MDT) que junto con la gran capacidad de los motores gráficos facilitan la visualización de datos espaciales. Existen dos tipos de mapas en los videojuegos: los mapas mutables y los mapas inertes. Los mapas mutables permiten que las acciones del jugador se realicen en el mapa mismo, como por ejemplo guiar a las tropas hacia un objetivo directamente desde el minimapa en *Starcraft 2* o estableciendo y cambiando los objetivos de un jugador en un mapa general en *Fallout 4* (Gekker, 2010). En los últimos 20 años los videojuegos han perfeccionado sus cartografías pudiéndose diferenciar distintos tipos de representación según su localización temporal o espacial:

a. Cartografía ambientada en periodos históricos

En esta categoría destaca la cartografía elaborada para la saga *Assassin's Creed*. En el año 2007 Ubisoft lanza al mercado un nuevo concepto de videojuego en el que el contexto histórico adquiere una especial relevancia. Se puede decir que este juego sienta las bases de un planteamiento que hace de la cartografía el eje básico de su jugabilidad. El jugador puede recorrer escenarios históricos e incluso encontrarse con personajes reales, añadiendo un

componente didáctico que enriquece la experiencia de juego. El videojuego recrea ciudades o territorios, que destacan por su diseño realista a modo de visor cartográfico donde se puede hacer zoom para acercarse a las áreas de interés (fig. 5). La primera entrega se desarrolló en el siglo XII (época de las Cruzadas). Con cada uno de los juegos se ha recreado un periodo histórico determinado, por ejemplo: en 2017 *Assassins Creed: Origins*, reconstruyó el Egipto del siglo I a.C, o en 2018 *Assassins Creed: Odyssey* mostró la Grecia del siglo V a.C. El último juego de la saga *Assassins Creed: Valhalla* (2020) refleja la llegada de los vikingos a las Islas Británicas en el siglo IX. A continuación, se muestran diferentes tipos de representaciones cartográficas del juego y otras creadas por usuarios.



Figura 5: “Assassin’s Creed: Odyssey”. 3D map. Fuente: imagen extraída del videojuego (2018).

b. Cartografía ambientada en localizaciones reales

En esta categoría entrarían los juegos que muestran localizaciones reales que se ambientan principalmente en áreas urbanas, como se refleja en las series *Watch Dog* o *Grand Theft Auto* (fig. 6 y 7).

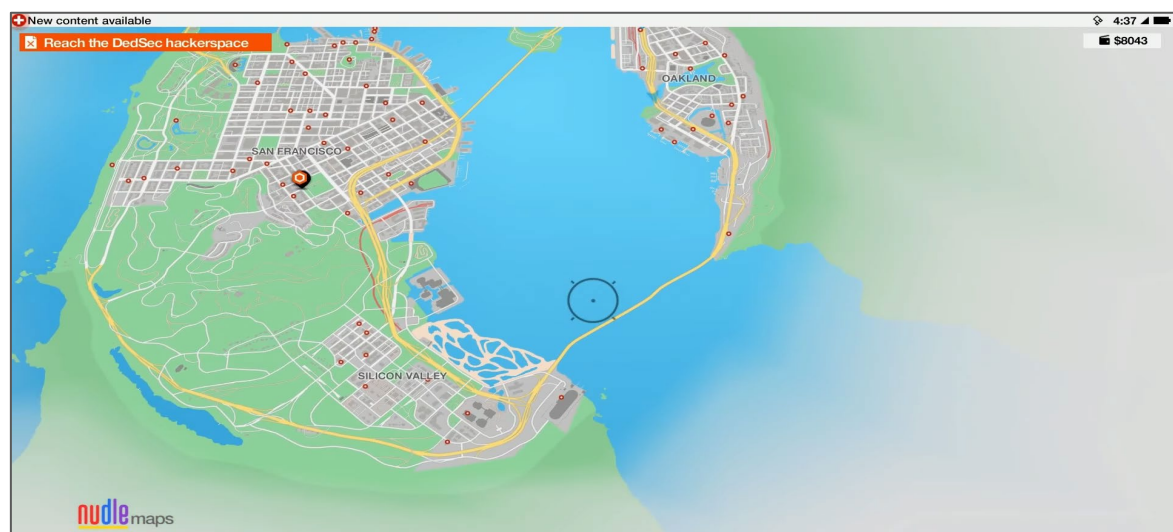


Figura 6. “Watch Dogs 2” ambientado en la ciudad de San Francisco. Su estética es un claro homenaje a la interface de “Google maps” (Nudlemaps). Fuente: imagen extraída del videojuego (2016).

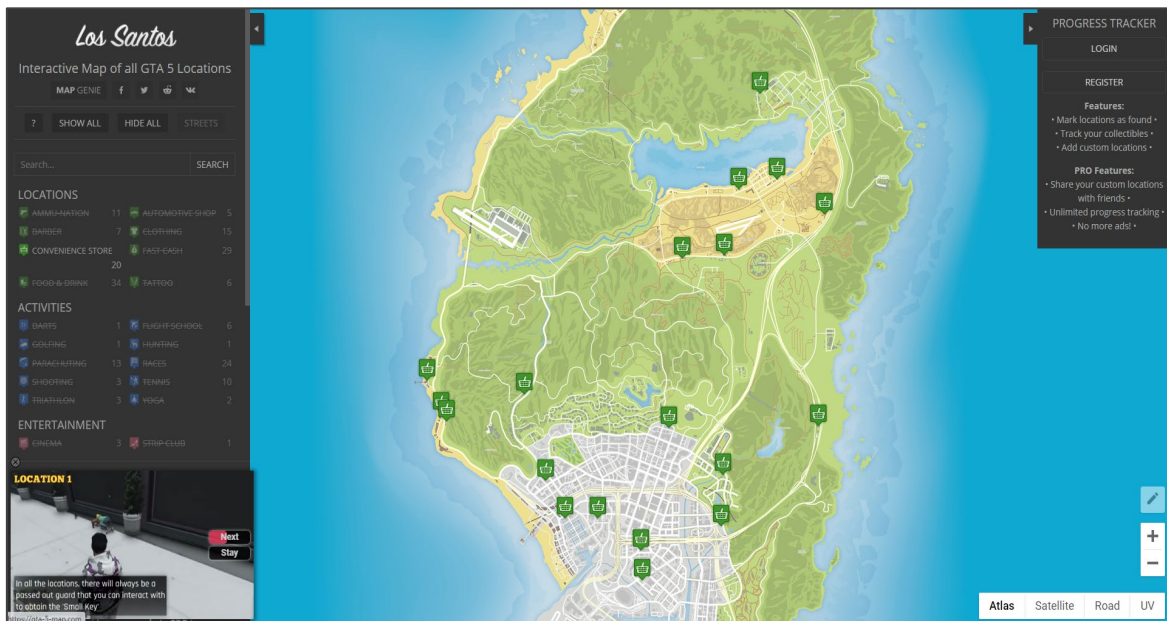


Figura 7. Mapa interactivo de “Los Santos” (Grand Theft Auto, GTA 5). La ciudad de “Los Santos”, similar a Los Ángeles, CA. Fuente: <https://gta-5-map.com/> (2013).

c. Cartografía de mundos ficticios

Los videojuegos de temática fantástica son muy numerosos, siendo las representaciones cartográficas un elemento diferenciador. Entre esos videojuegos pueden destacarse, *Skryim* (Bethesda Game Studios, 2011) y *The Witcher 3* (CD Projekt Red, 2015). El diseño del mapa base es de tipo visor, en el que se pueden realizar acercamientos a zonas determinadas para visualizar con más detalle. La cartografía representa diferentes elementos del paisaje como montañas, prados, bosques, ríos, lagos, etc. La perspectiva isométrica en 3D, que junto al movimiento de las nubes sobre el mapa aporta gran dinamismo y mayor sensación de realidad, permite apreciar estos elementos del paisaje (fig. 8).



Figura 8: Mapa interactivo del videojuego “Skryim”. Fuente: imagen extraída del videojuego (2011).

Generalmente, las áreas no exploradas se muestran cubiertas por nubes que se van disipando a medida que se descubren nuevos espacios. La simbología utilizada en el mapa es amplia y claramente relacionada con el elemento al que representan.

Otros ejemplos que se muestran a continuación son los relacionados con el videojuego *The Witcher 3: Wild Hunt* (fig. 9, 10, 11).



Figura 9. Mapa *The Witcher 3: Wild Hunt*. Fuente: imagen extraída del videojuego (2015).

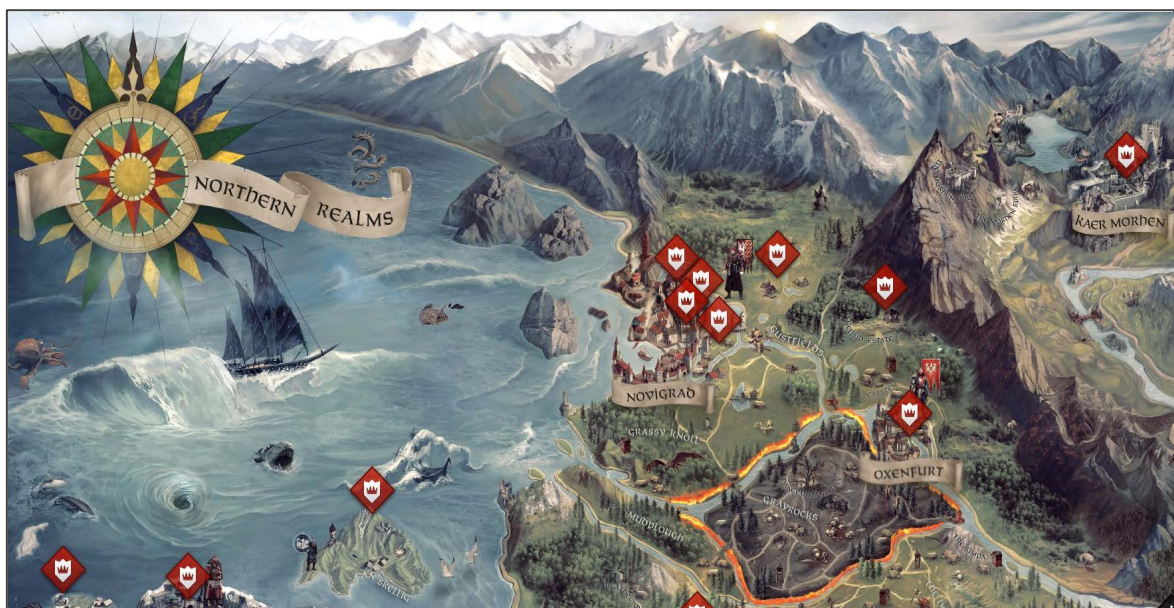


Figura 10. Ilustración en perspectiva 3D del mapa de *The Witcher 3: Wild Hunt*. Reinos del norte. En el centro se localiza la ciudad de "Novigrad". Fuente: <http://thewitcher.com> (2015).



Figura 11: Recreación 3D de la ciudad de Novigrad. Fuente: <https://sketchfab.com/3d-models/witcher-novigrad-city-0a987ce658ad4aca81a1e44c1cd68905> . La recreación, creada por el usuario “geek_dad”, está exportada a la plataforma “Sketchfab”, donde es posible rotarlo y cambiar diferentes parámetros.

d. Cartografía de ambientación futurista

Finalmente, los videojuegos futuristas (o de ciencia ficción) han desarrollado cartografías imaginarias. Ejemplos ilustrativos son los juegos *Mass Effect 2* o *Cyberpunk 2077*. En relación al segundo, el mapa representa la ciudad que se desarrolla tanto horizontal como verticalmente, ya que los edificios constan de varias plantas y el cartografiado muestra cada uno de esos niveles. La estética sigue un diseño futurista adaptado a la temática con una gama cromática muy simplificada potenciando la temática tecnológica de gran importancia en el juego. Los edificios se representan en color rojo y las infraestructuras se muestran en tonos azules. Es un mapa 3D con la posibilidad de acercarse mediante zoom (fig.12 y 13).



Figura 12. Mapa interactivo del videojuego “Cyberpunk 2077”. Fuente: imagen extraída del videojuego (2020).



Figura 13. Detalle mapa del videojuego “Cyberpunk 2077”. Fuente: imagen extraída del videojuego (2020).

En definitiva, los ejemplos que se han aportado muestran la importancia de las recreaciones cartográficas en la industria del videojuego, sector en el que los geógrafos, expertos en el manejo de las TIG, pueden tener posibilidades laborales. Como se indicó en la introducción, este trabajo explora las posibilidades para la recreación de modelados 3D de la superficie del terreno, así como la realización de animaciones y edición de videos, mediante un programa específico de modelado: Blender.

3. Capacidades del software Blender para la representación del terreno y el modelado 3D

Este software libre multiplataforma integra una serie de funcionalidades para la creación de contenidos 3D, enfocados al modelado, animación y creación de gráficos tridimensionales. Además de ser gratuito, otra de sus ventajas es su reducido peso, apenas 5MB. Se trata de un programa con funcionalidades CAD, por eso a veces aparece agrupado en esa categoría (fig. 14), si bien sus mayores prestaciones son, como se ha dicho, la visualización y modelado 3D realista. Blender es considerado un software de dificultad media para el usuario, y, aunque en principio estaba destinado a artistas y profesionales multimedia, su uso se ha extendido extraordinariamente en los últimos años gracias a su difusión en canales como YouTube, mediante tutoriales o manuales online. Sus funcionalidades van desde la creación de visualizaciones 3D de imágenes estáticas y videos de alta calidad, hasta la elaboración de contenido interactivo de reproducción independiente gracias al motor 3D en tiempo real.



Figura 14. Cuadro tecnologías de la información geográfica. Fuente: Visualización de información geográfica en el visor Google Earth y su aplicación en Vellosillo (Segovia). Interactuando con el CAD MicroStation v8i y con el visor Google Earth para visualizar capas geográficas vectoriales. <http://asociaciondevecinosdevellosillo.blogspot.com.es/2015/07/visualizacion-de-informacion-geografica.html>. Luis Miguel Tanarro, (2020).

En cuanto a programación, es posible el uso del lenguaje “Python”, que permite automatizar o controlar múltiples tareas de edición mejorando su eficiencia. Igualmente es compatible con aplicaciones CAD y SIG, y puede interactuar con *Google Earth*, como luego se verá en uno de los ejemplos expuestos. Cada vez más producciones utilizan este software, algunas de las más destacables son (fig. 15): “Elephants Dream” (2006), “Tears of Steel” (2012), “Cosmos Laudromat” (2015) y “Spring” (2019), entre otras.

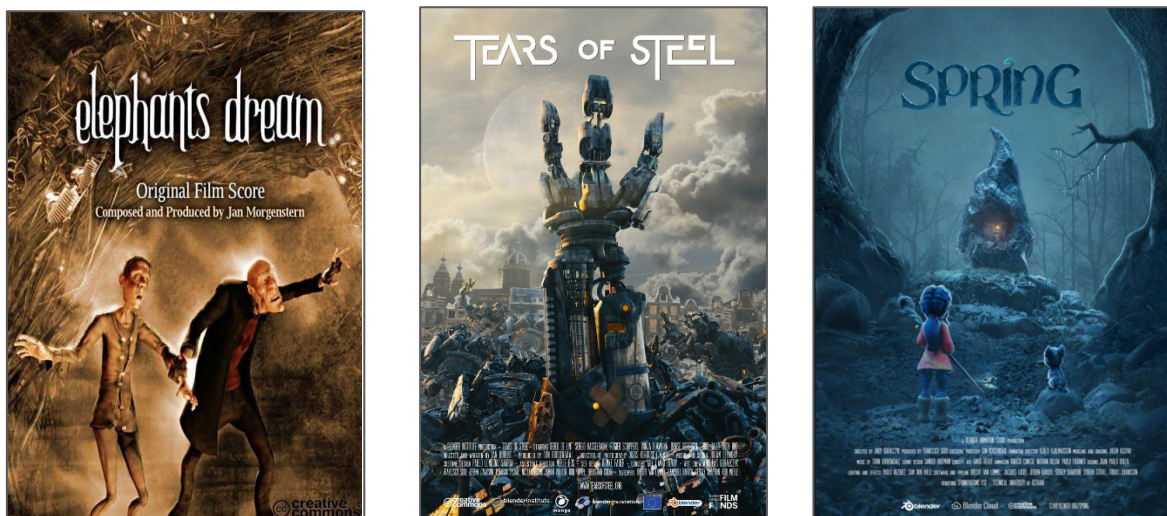


Figura 15. Carteles de algunas de las producciones audiovisuales realizadas con Blender.

Todos los ejemplos mostrados en este TFM han sido elaborados mediante el software “Blender”. Este programa puede descargarse de forma gratuita en la página: <https://www.blender.org/>. La versión utilizada para este trabajo ha sido la 2.93.1 (actualmente la versión descargable es la 2.93.3).

3.1. Complemento BlenderGIS

Junto al programa se ha añadido el complemento externo *BlenderGIS*, descargado de la web: <https://github.com/domlysz/BlenderGIS>. Tras la descarga del fichero con el complemento, es necesario ir al programa e instalarlo en “Edit”/”Preferences”/”Add-ons”/”Install”. Una vez instalado se debe activar. Igualmente, para activar otros *add-ons* que se incluyen en el programa, solo es necesario buscar su nombre en “search” y activarlos. Esta extensión o complemento permite trabajar con datos geoespaciales. Desde la extensión se pueden generar modelos 3D del terreno obtenidos de la misión de la NASA STRM (Shuttle Radar Topography Misión) (fig. 16), así como modelos urbanos, mediante la extracción de geometrías tales como edificaciones y otras estructuras (*OSM*) (fig. 17).

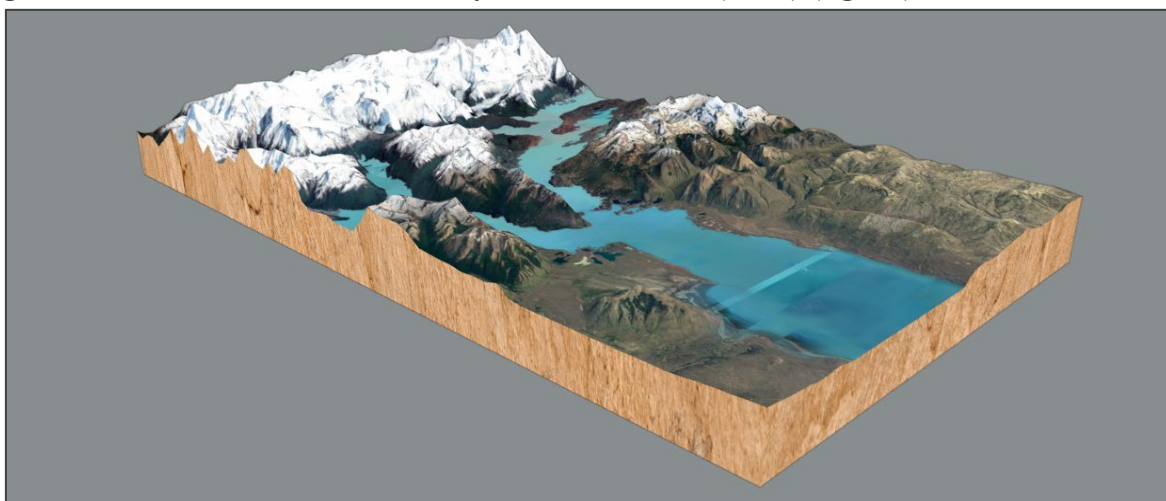


Figura 16. Modelo 3D obtenido a partir del STRM. Zona del lago Argentino, Patagonia, Argentina. Elaboración propia.



Figura 17. Modelo 3D obtenido a partir de OSM. Ciudad de Barcelona, España. Elaboración propia (abajo).

Es posible trabajar con archivos ESRI Shapefile, imágenes ráster georreferenciadas, geotiff DEM, OpenStreetMap xml, generar mallas 3D del terreno, exportar datos georreferenciados y realizar análisis topográficos. Una vez obtenidos los modelos 3D es posible la asignación de texturas, configuración de la iluminación, renderizados, etc. como luego se verá en uno de los ejemplos realizados. Otra interesante aplicación que ofrece este *add-ons* o complemento es la generación de un modelo 3D a partir de un archivo vectorial en formato shapefile con las curvas de nivel. El modelo 3D puede ser, posteriormente, cubierto mediante un fichero ráster georreferenciado (tif, jpg, jp2, png, etc.) a modo de textura. Es una forma muy sencilla de representar datos geoespaciales en un modelo tridimensional a partir de ficheros shapefile y ráster. En primer lugar, se carga el fichero vectorial (*.shp) con las curvas de nivel: Import/Shapefile>Curvas de nivel (fig. 18). A continuación, se crea una malla del tipo Delaunay a partir del fichero de curvas de nivel: Mesh/Delaunay-->Malla a partir de las curvas de nivel (fig. 19). Finalmente, para cubrir el modelo con la imagen ráster georreferenciada, se importa la imagen ráster (en formato tif, jpg, jp2 o png), y se indica que el modo es “Basemap on mesh” (jpg) y como parámetro “Objects”: TIN (fig. 20).

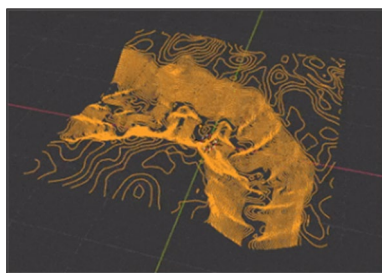


Figura 18. Shapefile de curvas de nivel.

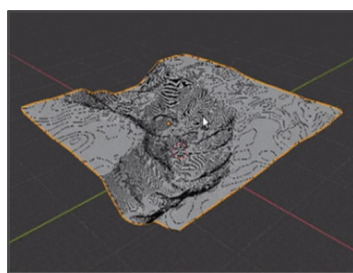


Figura 19. Malla Delaunay.



Figura 20. Mapa base sobre malla.

Fuente: Domlysz/BlenderGIS.

3.2. Materiales y datos complementarios empleados

a. Imágenes HDRI (*High Dynamic Range Imaging*)

Son imágenes de rango dinámico alto, que son utilizadas como fondo en el modelado 3D, ya que añaden imagen, así como iluminación a la escena, pues mantienen la información tanto de las luces como de las sombras que se han podido capturar con una cámara de fotos. Es una técnica de producción fotográfica de múltiple exposición que conforma una única imagen final con mayor riqueza cromática y detalle figurativo a diferencia de la clásica fotografía de una sola exposición (Montero, H, 2018). Un archivo HDRI o HDR puede tener una extensión: *.hdr, *.exr, *.raw, *.tiff, etc. Para este estudio se han descargado los siguientes HDRI's de la web:

- Poly Haven, The Public 3D Asset Library: <https://polyhaven.com/>
 - autumn_park_4k.exr
 - lakeside_4k.exr
 - spruit_sunrise_4k.exr
 - table_mountain_1_4k.exr

b. Texturas

Son archivos que simulan materiales utilizados para dar mayor sensación de realismo o para crear una estética determinada. Generalmente, los materiales cambian sus propiedades según su movimiento por la superficie. Esta característica puede ser simulada en los gráficos por ordenador mediante las texturas. En su mayoría, las texturas utilizadas tienen el formato *.jpg. Para la realización de los ejemplos se han usado diferentes tipos de texturas obtenidas de las siguientes webs:

- Poly Haven, The Public 3D Asset Library:
<https://polyhaven.com/>
- Solar System Scope.Solar Textures:
<https://www.solarsystemscope.com/textures/>

c. Modelos 3D

También se han descargado modelos 3D gratuitos que han servido para completar las escenas de algunos de los ejemplos elaborado en este TFM, principalmente se han descargado modelos de árboles (posteriormente editados en Blender), de otro tipo de vegetación, y estructuras arqueológicas, como pirámide maya “Templo Kukulkán” en formato *.obj y *.blend. La web donde se han obtenido estas estructuras 3D es:

- Free3D. Modelos 3D gratis. <https://free3d.com/es/modelos-3d/blender>

3.3. Técnicas y métodos principales de visualización de objetos

Las versiones actuales de software SIG/CAD han mejorado sus funcionalidades para la geovisualización 3D de objetos. No obstante, algunas técnicas de modelado 3D, como es el proceso de renderizado para obtener escenas o modelados realistas a partir de la asignación de texturas, grados de iluminación, etc. se ejecutan, preferentemente, en programas específicos, más cercanos a las tecnologías de la realidad virtual (Blender, 3D Studio Max, Maya, VTK, etc.), aunque, como señala Ojeda (2010), sacrificando a veces la georreferenciación en el mundo real y las capacidades analíticas.

A continuación, se explican brevemente algunas de las técnicas más empleadas en el modelado 3D de objetos mediante el uso del software Blender.

3.3.1. Iluminación

La iluminación del entorno es uno de los aspectos más importantes para la escena, tras el proceso de modelado. Una de las formas más habituales de disponer los puntos de luz es la llamada “Iluminación a 3 puntos” (fig. 21). La iluminación, siguiendo esta técnica, implica colocar el objeto a iluminar en el centro de la escena y la cámara frente a él. A continuación, se configura la luz principal *key light*, definiendo su posición y altura con respecto al objeto. Esta fuente de luz suele ser la más potente y es la que provoca la mayor parte de las áreas iluminadas y en sombras. Posteriormente, se puede aplicar una luz de relleno *fill light*, que se ubica en el lado contrario a la luz principal y a la misma altura que el objeto para así iluminar las zonas oscuras del mismo. Esta iluminación tiene menos potencia y una dispersión más difusa. La apertura es mayor para conseguir suavizar las sombras generadas en el modelo.

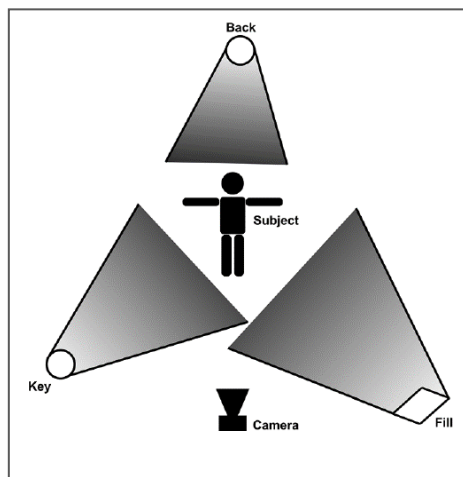


Figura 21. Iluminación a 3 puntos.
Fuente: Blender for Dummies, 2009.

La luz de fondo se coloca en la parte posterior del objeto, creando un ligero halo alrededor de su perfil. Esto permite separar al objeto del fondo y aporta profesionalidad a la iluminación.

Blender ofrece 4 opciones dentro del menú Add/light (fig. 22). En el tipo de luz “Point”, la luz se ubica en un solo punto del espacio emitiendo en todas las direcciones desde una ubicación determinada. La luz del tipo “Sun” funciona como una única luz universal que proviene de un solo lugar y con ángulo definido. Es un tipo de luz muy adecuada para la recreación de espacios al aire libre. La luz de tipo “Spot” funciona de manera similar al de una linterna o foco, por lo que resulta muy adecuada como punto de luz principal *Key light* y, por último, las luces del tipo “Area” son aquellas que generan sombras más suaves, pero su tiempo de procesamiento es mayor, por lo que no conviene usarse en exceso. Cada uno de los tipos tiene un submenú para poder variar sus parámetros.

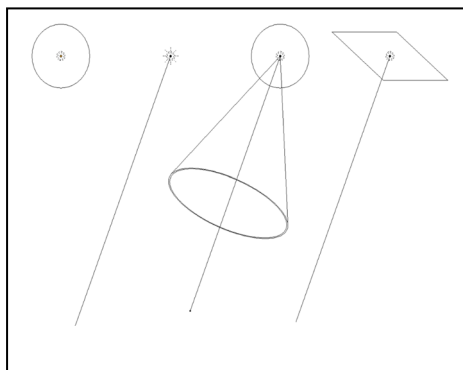


Figura 22. Tipos de luces.
Fuente: Blender for Dummies, 2009.

Es posible configurar el entorno en el menú “World Properties”, muy útil a la hora de renderizar una escena. En las últimas versiones el programa ofrece una imagen de fondo llamada *Sky Texture* con tres variantes: Preetham, Hosek/Wilkie y Nishita. Esta última es la que se ha utilizado en las recreaciones llevadas a cabo en este trabajo, ya que es la más realista y la que ofrece una iluminación más adecuada al objeto de estudio.

Otra forma de mostrar una iluminación general es mediante las imágenes HDRI (*High Dynamic Range Imaging*), para su integración en 3D. Se trata de imágenes de alto rango dinámico, que aportan una iluminación que se asemeja con mayor precisión a la realidad (Van Gumster, 2009). Se han empleado estas imágenes en gran parte de los ejemplos expuestos, como luego se indicará.

3.3.2. Materiales y texturas

En el diseño o modelado 3D, la geometría de los objetos está formada por vértices que forman caras o mallas con facetas que representan una superficie uniforme, las cuales pueden ser iluminadas y/o rellenas mediante la asignación de materiales o texturas con el fin de alcanzar la sensación de tridimensionalidad (Bentley, 2021; INTEF, 2021). El material es la apariencia que muestra el objeto, determinada por su interacción con la luz. La primera cualidad de un material es el color difuso (el color propio del objeto). La especularidad es la capacidad que tiene el material de reflejar la luz que llega desde un punto determinado. Otra de las propiedades del material es la de reflejar el entorno (por ejemplo, el modo espejo reflejará el 100%). Por otro lado, una textura es un tipo de imagen que se extiende o coloca en mosaico sobre la superficie de un objeto para darle más detalle sin añadir más geometría. Las texturas no solo pueden influir en el color del objeto, sino que también permiten hacer ajustes adicionales, como variar el brillo de algunas partes específicas del modelo. Por ejemplo, en un rostro humano, la piel tiende a ser más brillante en la nariz y la frente, y algo más opaca alrededor de los ojos. Mediante las texturas es posible controlar este tipo de aspectos. En concreto, Blender ofrece dos tipos de texturas: texturas basadas en imágenes y texturas llamadas “procedimentales”. Las primeras son imágenes que se cargan como texturas, en cambio, las procedimentales son aquellas creadas a partir de un algoritmo o patrón específico. La ventaja de las texturas procedimentales consiste en que mediante ese patrón es posible generar gran cantidad de detalles en poco tiempo. También es importante resaltar que este tipo de texturas no se vuelven borrosas ni se “pixelan” al hacer zoom. Blender posee una lista de texturas procedimentales que pueden ser de gran utilidad a la hora de trabajar en espacios extensos, algunas de ellas son: *Brick texture*, *Checker texture*, *Environment texture*, *Gradient texture*, *IES texture*, *Image texture*, *Magic texture*, *Musgrave texture*, *Noise texture*, *Point Density*, *Sky texture*, *Voronoi texture*, *Wave texture* y *White Noise*.(fig. 23).

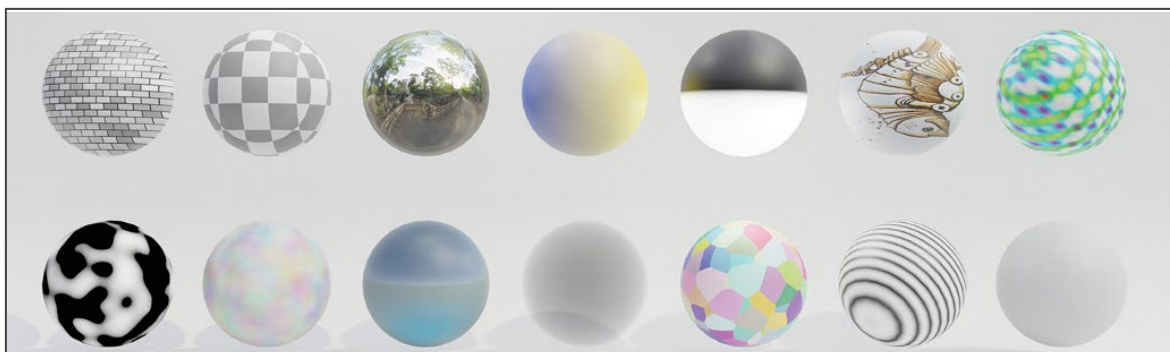


Figura 23. Tipos de nodos de textura procedimentales en Blender. Fuente: *Blender for dummies*, 2009.

En los ejemplos mostrados en este TFM se han empleado algunas de estas texturas como: *Image texture* (no es una textura procedimental, pero se incluye en esta clasificación ya que está dentro del menú de texturas); *Sky texture*, utilizada como fondo de algunos modelos, simula los colores e iluminación del cielo (world); *Noise texture*, utilizada para generar efectos de niebla o las ondulaciones de líquidos, etc. (Van Gumster, 2009).

3.3.3. Renderizado

Este proceso está estrechamente unido a la iluminación, ya que complementa y prepara la escena para su posterior salida. El renderizado es un complejo proceso que convierte la información tridimensional de un modelo o escena 3D en una imagen realista bidimensional. La imagen final incorpora una serie de datos vinculados al color, la textura y los materiales determinados durante el proceso de modelado y preparación de las características del render. Esta técnica tiene su origen en la década de los 60, cuando William Fetter recreó la figura de un piloto para así poder saber cuál era el espacio adecuado de la cabina. Años después, I. Sutherland, mediante *Sketchpad*, primer programa de modelado 3D, revolucionó el diseño gráfico de la época. En 1975 el investigador Martin Newell elaboró una prueba de modelado 3D conocido como la “tetera de Utah” o “Tetera de Newell”, esta representación fue el estándar de los renderizados y es considerada el *Hello World* del diseño por ordenador (Peddie, 2013).

El proceso de renderizado es muy similar al de la fotografía. Un software que permite la función de renderizado ubica la cámara en un punto y la dirige hacia un objeto para así realizar la composición o encuadre. Los puntos de luz son fundamentales, ya que dependiendo de la posición de ellos se generarán zonas de sombra y luz que proporcionarán un mayor realismo y detalle a la escena. A partir de la versión 2.80 Blender utiliza un motor de renderizado a tiempo real llamado *Eevee*, junto con el motor *Cycles*. El primero permite realizar una visualización previa del motor *Cycles*. Ambos se basan en técnicas de renderización clásicas. Así, en el caso de *Cycles*, usa la técnica de trazado de rayos. Los rayos se cruzan o rebotan en materiales y áreas iluminadas de la escena. Según el punto donde se concentran esos rayos, el renderizador hace una serie de cálculos relacionados con el color y el brillo adecuados para los materiales de la escena. Aunque la técnica utilizada por el motor *Eevee* es menos precisa que la de trazado de rayos de *Cycles*, está diseñada para ser un motor de renderizado basado en las condiciones reales (PBR, *Physically Based Rendering*), método que permite calcular la luz de una escena 3D en base a la realidad. En la actualidad no se ha conseguido llegar al 100%, pero se acerca bastante (Irender, 2020). Ambos motores tienen la opción de mejorar su resultado final mediante la unidad de procesamiento de gráficos de las tarjetas de video (GPU) y así poder acelerar el proceso de renderizado. Blender tiene un tercer motor de renderizado llamado *Workbench*. Se puede seleccionar en las propiedades del renderizado al igual que *Eevee* y *Cycles*, sin embargo, está pensado como motor para la ventana 3D, por lo que solo se puede trabajar la geometría

3D y no funciona como motor de renderizado de salida. Dependiendo del objetivo que se busque, se puede elegir un motor u otro. En el caso de querer un resultado hiperrealista podría hacerse con el motor *Eevee*, aunque lo más adecuado sería el motor *Cycles*. Si por el contrario lo que se busca es algo más cercano a la estética de la animación, con formas más abstractas y fantásticas, sería más adecuado el motor *Eevee*. (Blender 2.91. Reference Manual, 2020).

3.3.4. Edición de video

Entre las herramientas que pueden ser empleadas en la geovisualización destaca la animación, la cual se está convirtiendo en un componente esencial en los procesos multimedia, ya que introduce el movimiento en los documentos presentados (Vidal Domínguez et al., 2012). En este contexto, el programa Blender posee un editor de videos que permite realizar montajes básicos. Resulta un extra más para la representación de modelos 3D, aunque sin las prestaciones de editores profesionales como *Final Cut Pro*, *Adobe Premier Pro*, *Avid Media Composer*, etc.

Mediante el editor es posible realizar montajes, incorporar textos, transiciones, secuencias, edición de la imagen de salida, sincronización de las escenas, control de velocidad, filtros, así como incorporar archivos de sonido. Para la elaboración de los montajes es necesario partir de un boceto previo donde se marcarán los movimientos de cámara mediante la colocación de *keyframes* en la pantalla “Timeline”. Una vez ubicados estos puntos en el video, se renderiza la animación y mediante el editor de video se añaden el resto de elementos para crear el producto final. Un ejemplo de creación de producto audiovisual expuesto en este TFM es la “Modelización 3D del Sistema Solar”.

4. Proceso de elaboración de los modelados 3D y resultados obtenidos

Tal como se explicó en los objetivos, se han utilizado diversas funcionalidades de geovisualización 3D de objetos que ofrece el software Blender para elaborar y diseñar varios ejemplos de modelados 3D. Con la finalidad de agilizar la lectura, se detallan, en primer lugar, la metodología cada ejemplo y posteriormente se analizan los resultados obtenidos.

4.1. Recreación virtual de paisaje marciano

El primero de los ejemplos muestra un modelo que simula un paisaje de un planeta imaginario, podría ser Marte en proceso de terraformación, o cualquier otro lugar. En la recreación se ha optado por representar una topografía bastante accidentada, compuesta por riscos abruptos con pendientes pronunciadas. Las rocas simuladas son de tipo sedimentarias muy similares a la arenisca, con tonalidades amarillentas que se ven resaltadas por la iluminación y por el efecto de su débil atmósfera.

Carga del HDRI

En “World Properties” se cargará el HDRI en Color: Sky Texture. De esta forma se obtendrá un fondo con una iluminación adecuada para la escena. Se modificarán los parámetros del renderizado en: “Render Properties”/Render Engine: Cycles/Feature Set: Supported/Device: CPU compute.

- Color Management/Look: Medium High Contrast.
- Film: Transparent (opcional).

Será conveniente activar la vista “Viewport Shading: Rendered” para ver la escena renderizada. Tras cargar el HDRI, se debe crear un plano para sustentar la escena (Shift+A/Mesh/plane). La lámina que se crea tiene unas dimensiones por defecto de 2x2 metros, este dato puede consultarse en el menú “item” ubicado en el lateral derecho de la ventana 3D (fig. 24).

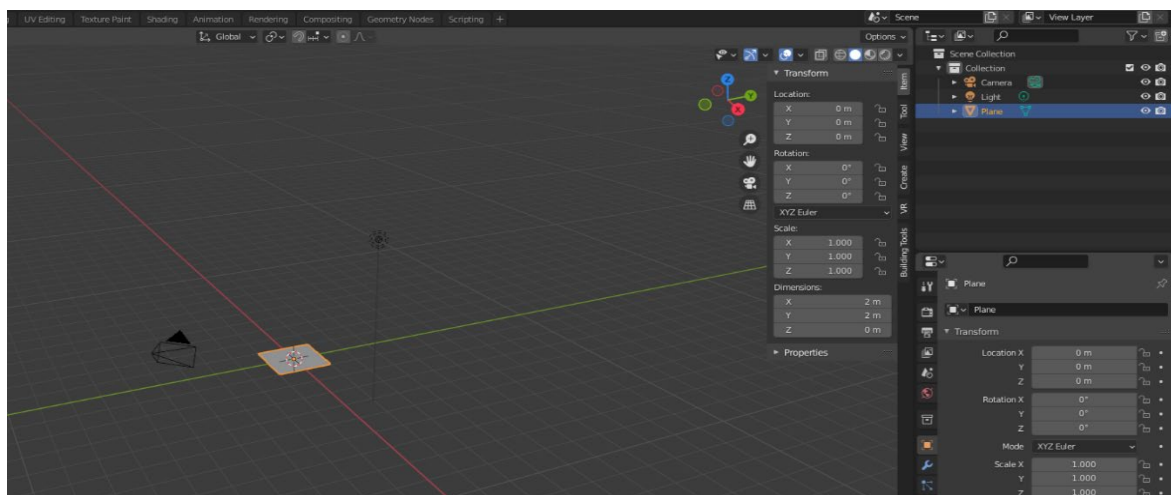
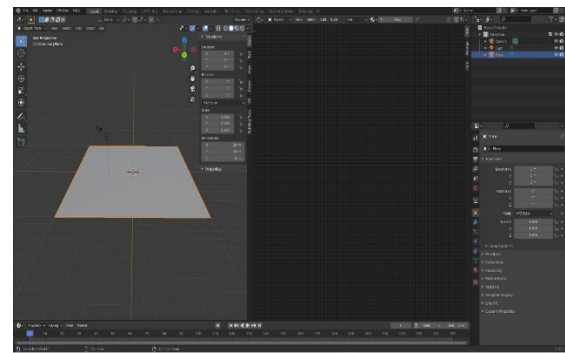
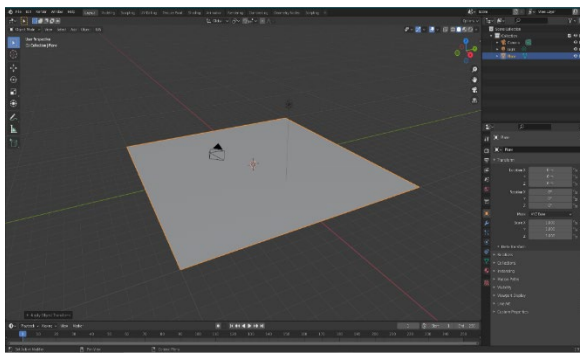


Figura 24. Creación de la malla y ajuste de sus dimensiones.

Es posible modificar el tamaño de la malla a través del atajo tecla “S” escribiendo el número proporcional en el teclado, por ejemplo: en el caso de tener un plano de 1 m^2 en origen y ser necesario uno de 10 m^2 , se debería presionar la tecla “S” y a continuación introducir el número 10 por teclado. Para aplicar la escala es necesario presionar “Ctrl+A/Scale”(fig.25). Es importante compartimentar debidamente el espacio de trabajo para poder trabajar de forma eficiente y ordenada, para ello es necesario crear otra ventana posicionando el cursor en la esquina superior izquierda hasta que aparezca una cruz y arrastrar hacia el centro de la ventana 3D, de esta forma se obtendrán dos ventanas para trabajar. El espacio de la derecha será la ventana de render “Viewport Shading: Solid” donde se visualizará la escena renderizada y así poder mostrar los resultados de una forma más rápida y cómoda. La segunda ventana, “Shader editor”, será la indicada para visualizar los nodos que permitirán texturizar, utilizar materiales y componer la escena (fig. 26).



Figuras 25 y 26. Dimensiones de la malla y división de la pantalla en dos subespacios de trabajo.

Para crear un material es necesario seleccionar “New” en la parte superior de la pantalla del “Shader Editor”, a continuación, aparecerán dos nodos: “Principled BSDF”, incluye varias capas que permiten crear una amplia variedad de materiales y “Material Output”, es el nodo de salida del material, se usa para enviar información del material de superficie a un objeto de superficie (fig. 28):

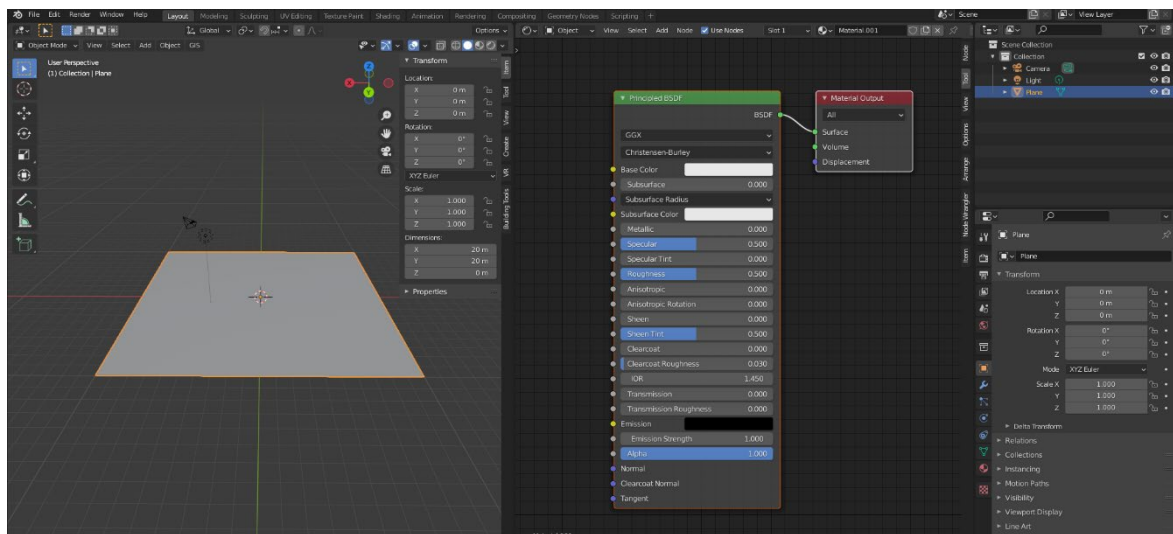


Figura 28. Creación de nuevo material en la pantalla del Shader Editor.

En el menú “Render Properties” situado en la parte derecha (menú propiedades), se indicarán las siguientes características:

- Render Engine: *Cycles*.
- Device: CPU (GPU en el caso de tener una tarjeta de video compatible).
- Feature Set: Experimental.

La iluminación será un punto importante en la escena, por lo que es aconsejable adecuar los parámetros en el menú “World Properties” situado también en el menú general de propiedades a la derecha de la pantalla. Para que el fondo tenga un tono realista en “Color” se seleccionará “Sky Texture”. El resto de parámetros se podrán variar más adelante, de momento no será necesario (fig. 29).

Después de fijar las características del render y la iluminación, es necesario elegir un color para el plano, para ello es preciso volver a la pantalla del “Shader Editor” y en “Base Color” seleccionar un color adecuado, en este caso se ha elegido un tono arena, con un modelo de color HSV (0.05, 0.850 y 0.117). Para poder ver el color y la iluminación se debe cambiar la pantalla “Viewport Shading” a “display rendered”, de esta manera se apreciarán los colores y las texturas. El siguiente paso es agregar una textura, esto se realizará en la pantalla del “Shader Editor” y mediante el atajo Shift+A/texture/ se añadirá el nodo “Noise Texture”. Para poder visualizar con mayor detalle se deben conectar “Fac” (“Noise Texture”) a “Displacement” (“Material Output”).

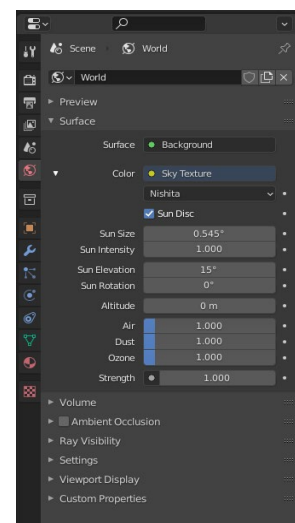
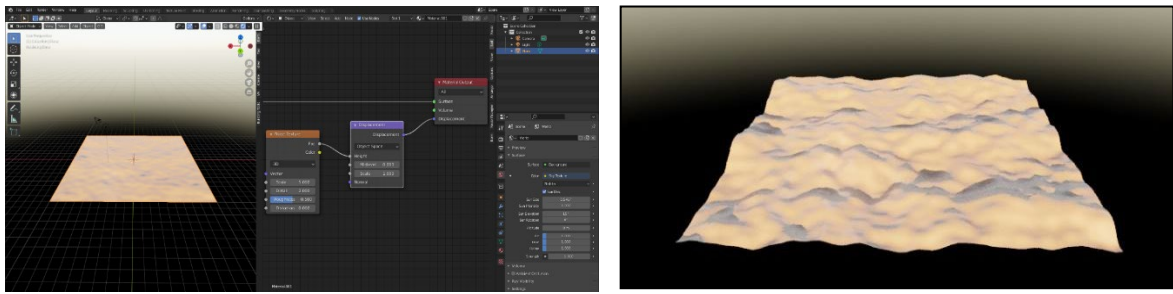


Figura 29. Menú World Properties.

De esta forma se aprecian pequeñas irregularidades en la superficie del plano que le van aportando mayor realismo. Seguidamente, es necesario crear el nodo “Displacement” (“Ctrl+A/Vector/Displacement”) y posicionarlo entre los nodos “Noise Texture” y “Material Output” para que así se conecten automáticamente. Después se deben unir “Fac” (“Noise Texture”) y “Height” (“Displacement”) para que así el factor determinante del ruido sea la altura y, por último, se debe bajar el “Midlevel” a 0 (fig. 29). A continuación, es necesario que el terreno presente ondulaciones, para ello se deben cambiar los parámetros en el menú “Material Properties/Settings/Displacement”-“Displacement and Bump”. A continuación, para que se visualicen los resultados, se incorporará el modificador “Subdivision Surface” del tipo simple, es necesario activar la casilla de “Adaptative Subdivision”, ya que si no es así no se podrán ver los cambios. Esta opción solo aparece si se ha configurado el “Feature Set” como “Experimental” en “Render Properties”.

Una vez visualizadas las ondulaciones, es posible hacerlas más pronunciadas a través del nodo “Displacement” en el parámetro “Scale”. Aumentando el valor las ondas se hacen más profundas, en este caso se ha considerado un valor de 2.830, suficiente para apreciarlas debidamente. Para visualizar mejor las formas se recomienda desactivar la opción “Show Overlays” en la parte superior derecha del “Viewport Shading” (fig. 30 y 31).

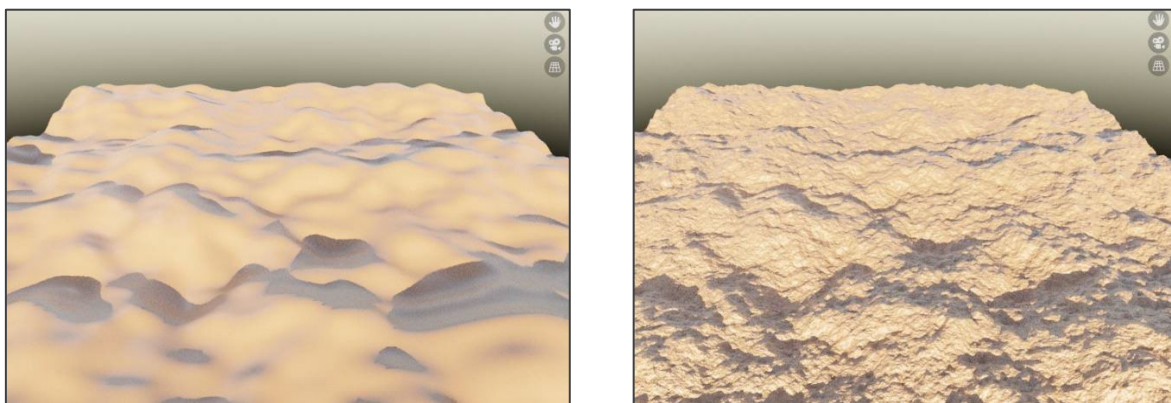


Figuras 30 y 31. Estructura de los nodos Displacement, Noise Texture y Material Output. Resultados de la aplicación de los parámetros.

El siguiente paso es el encuadre del renderizado. Para realizar esto se debe crear un cuadro (Ctrl+B) en un lugar representativo de la escena que presente una buena perspectiva, el renderizado solo se realizará dentro de este espacio. Antes de esto, es conveniente revisar los parámetros de renderizado en “Render Properties”/”Subdivision” y cambiar “View port” a 4 px., de esta forma mejorará la resolución (fig. 32). En la pantalla del “Shader Editor” se seleccionarán “Noise Texture”+Ctrl+T para crear los nodos: “Mapping” y “Texture Coordinate”. Para la creación de estos nodos es necesario tener activado, previamente, el *add-on* o complemento “Node Wangler” (Edit/Preferences/Add-ons). Con el nodo “Mapping” es posible cambiar la ubicación y la escala. Como ya se ha señalado, en el nodo “Noise Texture” también es posible variar la escala, así como otros parámetros, en este caso se modificarán varias características insertando los valores siguientes:

- Detail: 18 (cuanto más alto, más rugosidad).
- Roughness: 0.6 (a valores más altos, más planos agudos).

La escala y la distorsión mantendrán sus valores por defecto (fig. 33).



Figuras 32 y 33. Resultado de la revisión de los parámetros de renderizado y resultado de aumentar la rugosidad del terreno con el nodo Noise Texture.

Para crear espacios planos y montañas es necesario el nodo “Color Ramp”: se debe pulsar el atajo “Shift+A/Converter” -- “Color Ramp”. Al crear el nodo, es aconsejable arrastrarlo y

ponerlo entre los nodos “Noise Texture” y “Displacement”, de esta forma se conectarán automáticamente. Al mover el cursor de la izquierda hacia el tono blanco se muestran espacios planos, y si se desplaza a la derecha aumentará el tamaño de las montañas, esto último también es posible incrementando la escala en el nodo “Displacement” (fig. 34).

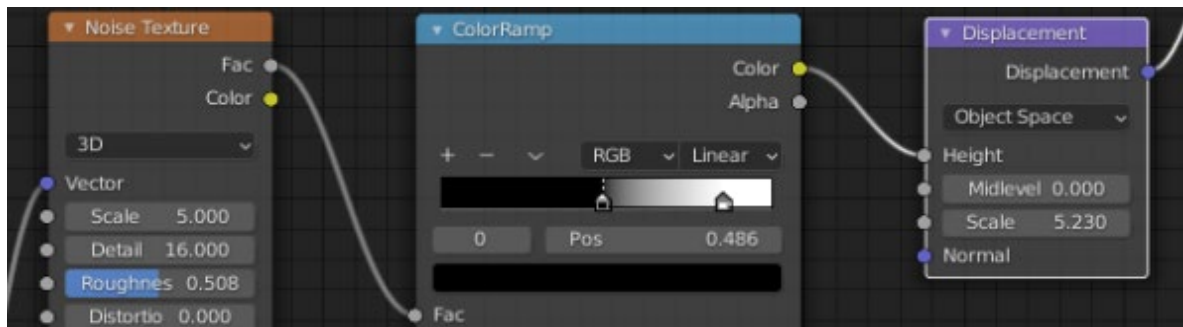


Figura 34. Parámetros de los nodos Noise Texture, ColorRamp y Displacement.

Los parámetros dan como resultado una imagen con zonas altas y áreas en plano (fig.35). Para agregar otras texturas son necesarios otros nodos como:

- “Mix RGB” (debe estar entre “Noise Texture” y “Color Ramp”).
- “Voronoi Texture”: conectar “Distance” a “Color 2” (“Mix RGB”).

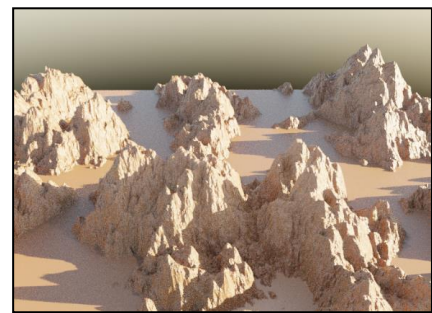
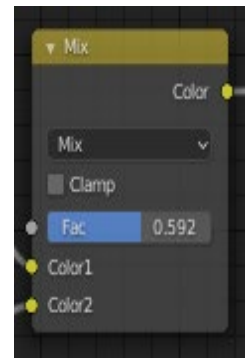
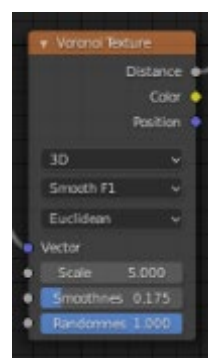
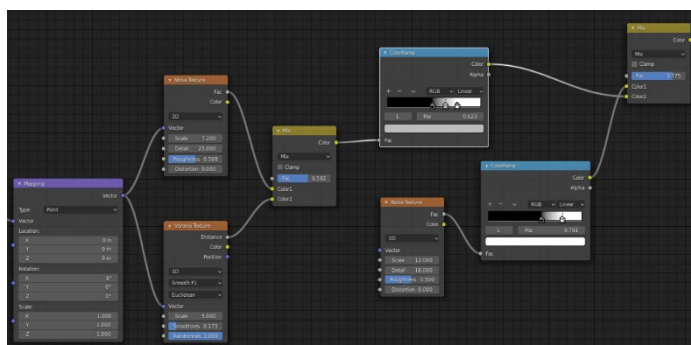


Figura 35. Resultado de la variación del slider del nodo ColorRamp.

Con el objeto de que tengan las mismas coordenadas, es necesario conectar el parámetro “Vector” en el nodo “Mapping” a “Vector” en el nodo “Voronoi Surface” y en el nodo “Voronoi Surface” se debe cambiar al método de suavizado “Smooth F1”, el valor de “Smoothness”: 0.175 para suavizar las montañas, el resto se mantendrá por defecto. En el nodo “Mix RGB” debe cambiarse “Fac” a 0.592 (fig. 36, 37, 38 y 39a).



Figuras 36, 37, 38. Estructura general de los nodos, parámetros de Voronoi Texture y Mix RGB.

Para aplanar las montañas es necesario crear otro slider (+) entre los dos anteriores (fig. 40), si se acerca hacia el negro los picos se alisarán.

Con la finalidad de dar mayor realismo se incorporará un segundo nodo “Color Ramp” y se ajustará el slider negro al valor 0.596, de esta forma las sombras se reflejarán de forma más realista en las áreas planas. Se agrega otro nodo “Noise Texture” y se duplica el nodo “Mix RGB”. Para evitar las ondulaciones en el terreno plano es importante intercambiar las conexiones de los nodos “Color Ramp” con el nodo “Mix RGB”. El primer “Color Ramp” se conecta a “Color 2” del nodo “Mix RGB” y el segundo nodo “Color Ramp” se conecta a “Color 1” del nodo “Mix RGB”. En el segundo nodo “Noise Texture” se modificará la escala para remarcar los picos de las montañas (escala:7.2). El parámetro “Roughness” le añade encrespamiento a las cumbres. Bajar la escala hará que el relieve se suavice. Para modificar y crear una escena más realista es conveniente ajustar los parámetros relacionados con la iluminación en “World Properties” en el menú “Properties” en la parte derecha de la pantalla. Aquí se podrán ajustar los valores según sean las necesidades. En este caso, los valores escogidos para la escena del renderizado son:

- Sun Size: 11,3°
- Sun Intensity: 1,000
- Sun Elevation: 16,3°
- Sun Rotation: 230°
- Altitude:0

De esta forma se indicará al programa en que posición se sitúa el sol, en este caso se localizará en la parte superior derecha de la escena. El resto de parámetros se mantendrán por defecto. El resultado visualizado en el “Viewport Shading: Render” es el siguiente (fig. 41):

- Air: 1
- Dust: 1
- Ozone: 1
- Strenght: 1



Figura 39a. Resultado de la variación de los nodos Mix RGB y Voronoi Texture.

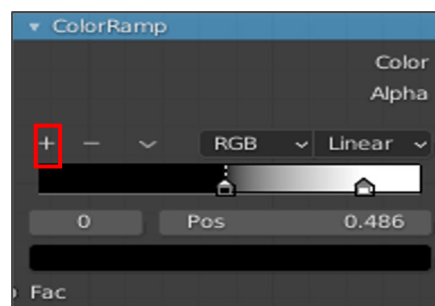


Figura 40. Creación de slider.



Figura 41. Resultado de la variación de la iluminación en el menú World Properties.

En el caso de requerir escenas más extremas, es posible obtenerlas mediante los siguientes ajustes:

- Air: 5,2
- Dust: 3
- Ozone: 4
- Strenght: 1,5

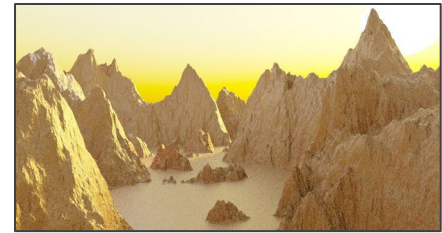
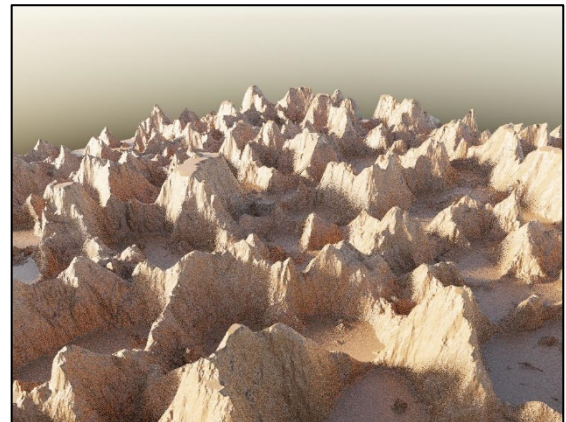
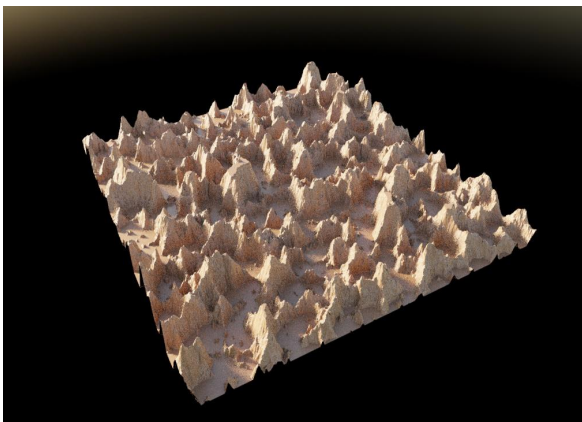


Figura 42. Resultado de la variación de la iluminación en el menú World Properties.

En la figura 42 se puede apreciar la posición del sol en la parte derecha de la imagen y la luz que incide frontalmente en las formaciones rocosas de la izquierda, dando como resultado un tono menos realista. Para crear el encuadre de la cámara se debe cambiar al modo “Viewport Shading: Solid” y mediante el atajo Shift + A – Camera, se añade la cámara a la escena. Después, seleccionar “View” / “Align View” -- “Align Active “Camera to View” y volver a la vista “Viewport Shading: Render”. De esta forma se creará el encuadre en el área seleccionada. Se activará “Camera to View” en el menú lateral de la pantalla. Esto permitirá mover libremente la cámara. Para eliminar el encuadre de la cámara es necesario cambiar a “Viewport Shading: Solid”, y a través del atajo “Ctrl+B” arrastrar el cuadro creado anteriormente hacia el exterior de la pantalla. Se eliminará el encuadre mediante el atajo Ctrl+Alt+B. En este caso se ampliará la extensión del terreno, para ello será necesario crear un modificador en el menú “Propiedades”, a la derecha de la pantalla. El modificador necesario es “Array”, anteriormente ya se había creado el modificador “Subdivision Surface”, por lo que se debe colocar en primer lugar el modificador “Array” para que se active antes que la subdivisión de la superficie que afecta a la distribución del modelado. Cada modificador de “Array” crea un cuadrante, en este caso es necesario crear dos modificadores “Array” para aumentar la superficie, tanto de la coordenada x como en la y (fig. 43a y 43b).



Figuras 43a y 43b. Vista isométrica del relieve y vista en detalle tras la duplicación de los cuadrantes mediante el modificador “Array”.

Preparación de la escena de renderizado

Para crear la imagen realista a partir del modelo 3D, lo primero que se debe hacer es visualizar la escena en el modo “Viewport Shading: Solid”. En “View Layer Properties” activar el parámetro “Mist” y seleccionar la cámara en la pantalla. En “Object Data Properties”, situado en el menú “Properties” y en “Viewport Display”, activar “Mist”. En “World Properties” se deberán cambiar los siguientes valores de “Mist Pass”:

- Start: 1,6
- Deph: 30

Se modificará la profundidad hasta que la línea naranja ocupe el suficiente espacio del plano (fig. 44). Por ahora no se ha cargado ninguna textura, solo se presenta un color base seleccionado en el nodo “Principled BSDF”. Para agregar la textura será necesario dirigirse al “Shader Editor”, seleccionar el nodo “Principled BSDF” y escribir el atajo “Ctrl+T”. De esta forma aparecerán tres nodos nuevos para visualizar las texturas: Texture Coordinate, Mapping e Image Texture. En “Image Texture”/open se cargará la textura. En este caso se ha elegido:

- “Rock029_8K_Color.jpg”.

En “Mapping” se aumentará la escala (x:4, y:4) y en el nodo “Coordinate” se conectará a “Mapping” con “Generated”. A continuación, se duplicará la textura “Imagen Texture” y se conectará el parámetro “color” (“Imagen Texture”) a “Roughness” (“Principled BSDF”). En el nuevo nodo creado “Imagen Texture” se añadirá la textura:

- “Rock029_8K_Roughness.jpg”.

Se eliminará el tono de fondo seleccionando en “Color Space” non color.

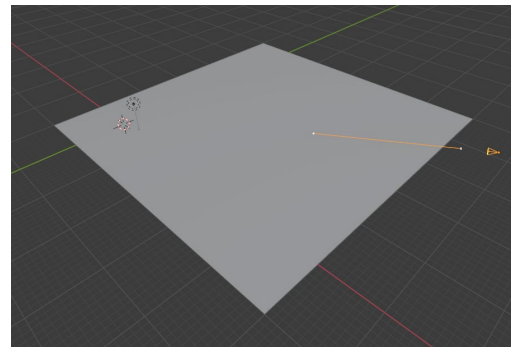


Figura 44. Visualización de la línea de profundidad.

Renderizado

En primer lugar, se deben configurar las propiedades del renderizado en el menú “Properties”. En el parámetro “Render” se indica el número de muestras que debe componer el renderizado. En este ejemplo se ha elegido el valor de 400, ya que a valores altos menos ruido tendrá la escena, sin embargo, el tiempo será mayor. El parámetro “Denoising” optimiza las muestras del renderizado, pero aumenta el tiempo del proceso. Para este ejemplo se mantendrá este valor por defecto. Para realizar el proceso de renderizado, presionaremos la tecla F12. Tras el proceso de renderizado se ha considerado añadir otro tipo de efectos o elementos, como es el caso de la niebla o la incorporación de masas de agua.

Creación de niebla

En “Compositing”, activaremos “Use Nodes”. A continuación, aparecerán los nodos:

- “Render Layers”.
- “Composite”.

Se generará el nodo “Viewer”. Se seleccionará la pantalla “Image Editor” en la parte inferior y se elegirá la vista del renderizado “Viewer Node”. Se agregará el nodo “Alpha Over” y se conectará “Mist” (“Render Layers”) a “Image 2” e “Image” (“Render Layers”) a “Image 1” y “Fac” (“Alpha Over”) a “Mist” (“Render Layers”).

Por otra parte, se conectará “Image” (“Alpha Over”) a “Image” (“Viewer”). Con el objeto de controlar la intensidad o incluso el color del “Mist Pass” es necesario crear un nodo “Color Ramp” (situarlo entre “Render Layers” y “Alpha Over”) (fig. 45).

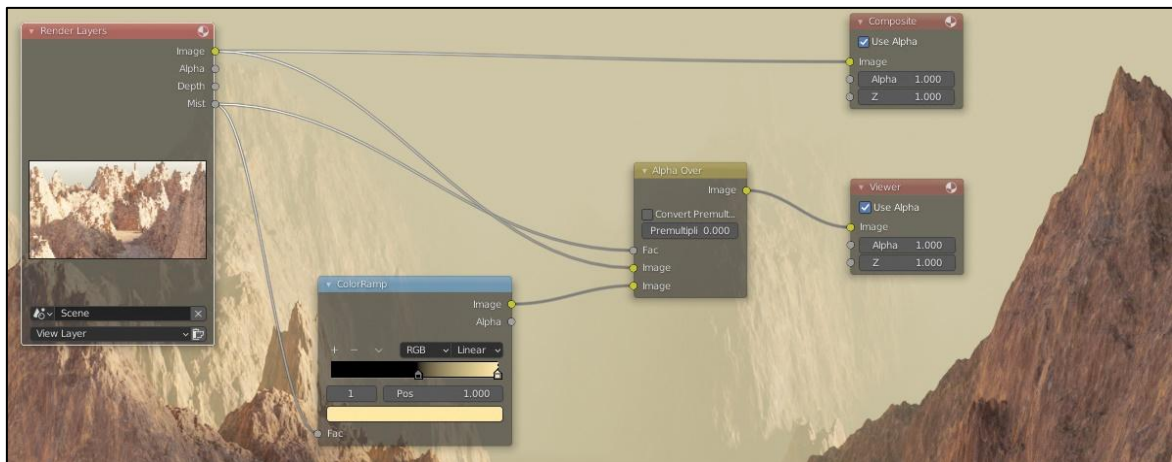


Figura 45. Visualización de los nodos de la pantalla “Composite”.

Creación de cuerpos de agua

Se visualizará en “Viewport Shading: Solid” y se añadirá un plano (Mesh/plane). A continuación, se escalará (S) y se moverá la z para situar la lámina por encima de la base del terreno. En “Shader Editor” se seleccionará el color en el nodo “Principled BSDF” y la rugosidad: Base Color: 0,0,0.1 y Roughness: 0. Para agregar la textura a la lámina de agua es necesario crear el nodo “Noise Texture” y conectar “Fac” a “Normal” (“Principled BSDF”) . Si se quiere generar ondulaciones se debe crear el nodo “Bump” (situarlo entre “Noise Texture” y Principled BSDF”), conectando “Fac” a “Height” (“Bump”). Si es necesario se aumentará la escala, se indicará en “Noise Texture” como valor 128 y en detalle 3,10. A fin de dar mayor sensación de realismo a la lámina de agua en el nodo “Bump” se bajará el valor “Strenght” a 0.7 (fig. 46).



Figura 46. Visualización del resultado final incluyendo las áreas inundadas.

Análisis de los resultados de la recreación del paisaje marciano

El resultado de la renderización ha sido la obtención de varias imágenes (fig. 47, 48a, 48b, 49 y 50) que recrean diferentes vistas del paisaje marciano. A continuación, se muestran ejemplos desde diferentes perspectivas:



Figura 47. Vista zona de paso entre montañas.



Figura 48a. Vista de zona de paso entre montañas con niebla.



Figura 49. Vista de zona montañosa con cuerpos de agua.



Figura 50. Vista general área pantanosa y efecto niebla.

La imagen 48b muestra una tonalidad diferente de niebla, creando una atmósfera en tonos rojizos.



Figura 48b. Vista de zona de paso entre montañas con niebla en tonos rojizos.

En estas imágenes se muestran los renderizados obtenidos mediante diferentes técnicas de texturizado, iluminación e incorporación de efectos como la niebla o la inclusión de masas de agua. El proceso de renderizado ha mostrado de forma óptima las texturas que han permitido crear un nuevo paisaje fotorrealista. Las imágenes de las figuras 51 y 52 muestran otra área con diferente iluminación a las anteriores, la altura del sol es más baja recreando un atardecer. La primera imagen también presenta el efecto niebla y la segunda incorpora las masas de agua con una ligera turbulencia.

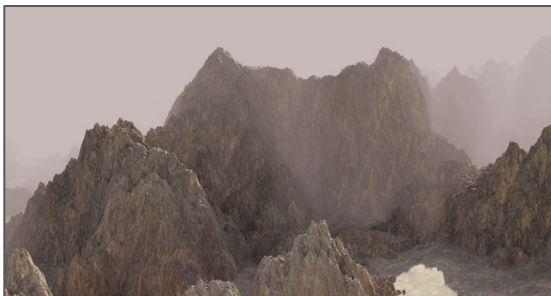


Figura 51. Vista de zona montañosa con niebla.



Figura 52. Vista zona pantanosa.

4.2. Recreación de paisaje virtual natural y estructura arquitectónica

En este segundo ejemplo se muestran una serie de pasos para recrear el paisaje natural, que incluye además la ubicación de una estructura arquitectónica (pirámide cultura Maya). Para generar el terreno y realizar modificaciones posteriormente se deben activar dos complementos o *add-ons*: Add Mesh: A.N.T. Landscape y Node: Node Wrangler. A continuación, se añadirá el terreno base: Mesh/Landscape. En la parte inferior izquierda aparecerá un menú en el que se puede ir cambiando las características del terreno. El propio programa proporciona una serie de modelos estándar que pueden modificarse según las preferencias personales. Para este modelo se elegirá el “Noise Type”: Hetero Terrain y en “Noise Basis”: Perlin. En este caso, se aumentará un poco la extensión de la malla (Mesh size x/y: 10). Se variarán los parámetros de altura (maximum: 5 y Height: 0,77). En “Falloff” se indicará que la línea que debe seguir es la del eje y. Se incrementará el valor del “Noise Size” a 1.90 para visualizar una mayor rugosidad. Para mejorar la resolución se aumentarán las subdivisiones de x/y a 250 (fig. 53).

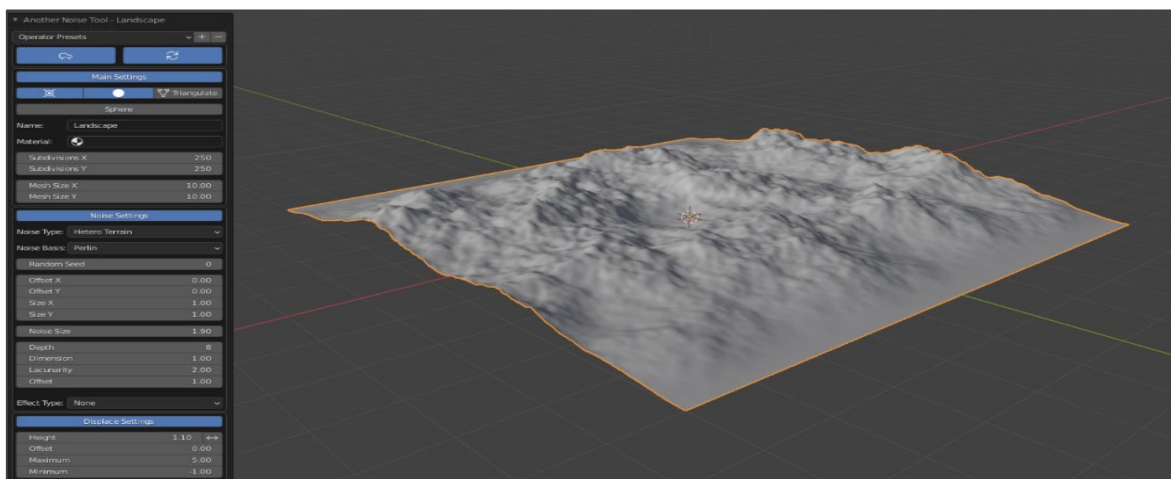


Figura 53. Parámetros de la malla base.

Una vez creado el modelo base, se pasará a dar texturas al paisaje. Se cargará un HDRI (lakeside_4k.exr) para mejorar la iluminación de la escena y se dividirá la pantalla en dos, se activará el “Shader Editor” y ahí será posible visualizar el nodo correspondiente al HDRI cargado anteriormente. Se añadirá un nodo de coordenadas de mapeo y textura (Mapping y Texture Coordinate) (fig. 54):

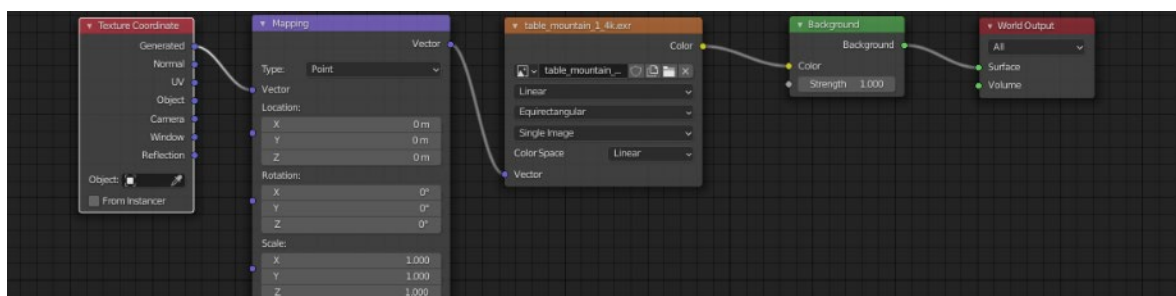
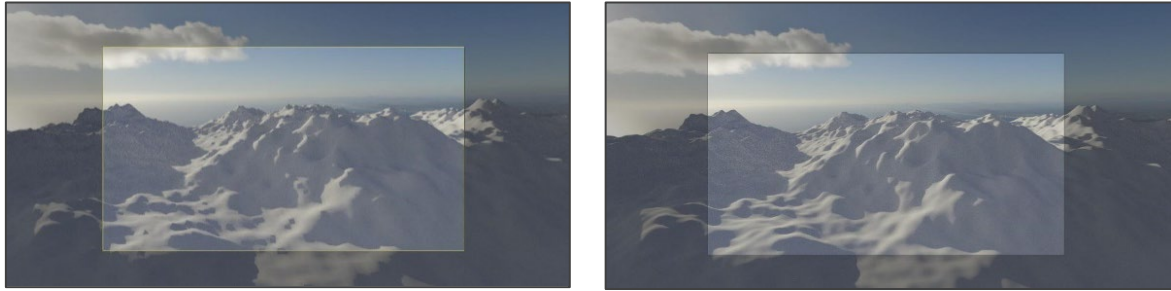


Figura 54. Estructura nodos del HDRI.

Se seleccionará un encuadre adecuado (cámara+Ctrl+Alt+0). De esta forma la vista elegida será el encuadre. En el menú de propiedades de la cámara se cambiará la distancia focal a 30 mm. con el fin de aumentar la visibilidad. En las propiedades del renderizado se seleccionará “Cycles”/”Supported”/”CPU” (fig. 55a). Se agregará un modificador “Subdivision Surface” de esta forma se suavizarán las sombras (fig. 55b).



Figuras 55a y 55b. Vista de cámara del modelo antes y después del modificador “Subdivision Surface”.

Se cambiará en “Shader Editor” a “Object” y se seleccionará “New” para agregar un nuevo material al modelo. Al crear el nuevo material el programa por defecto cargará el nodo “Principled Shader” conectado al nodo “Material Output” que permitirá la visualización (fig. 56).

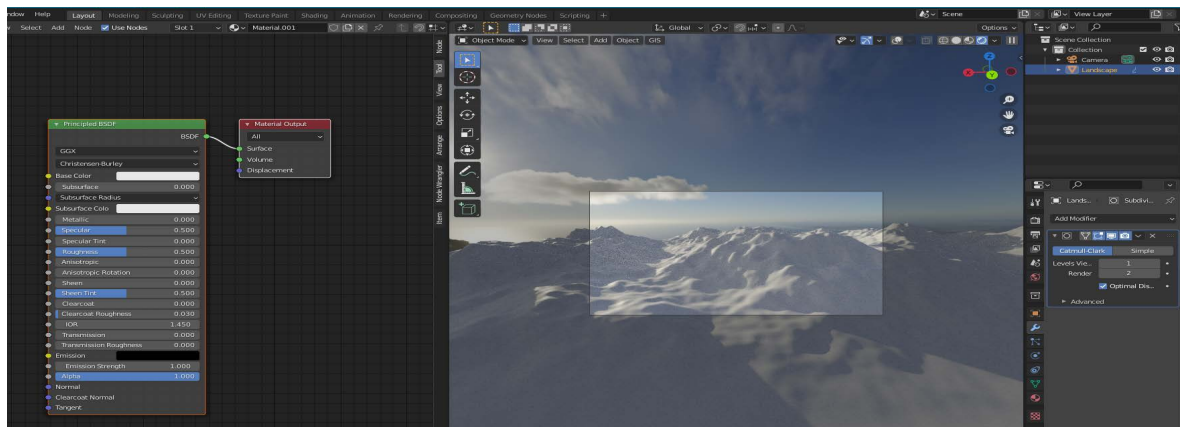
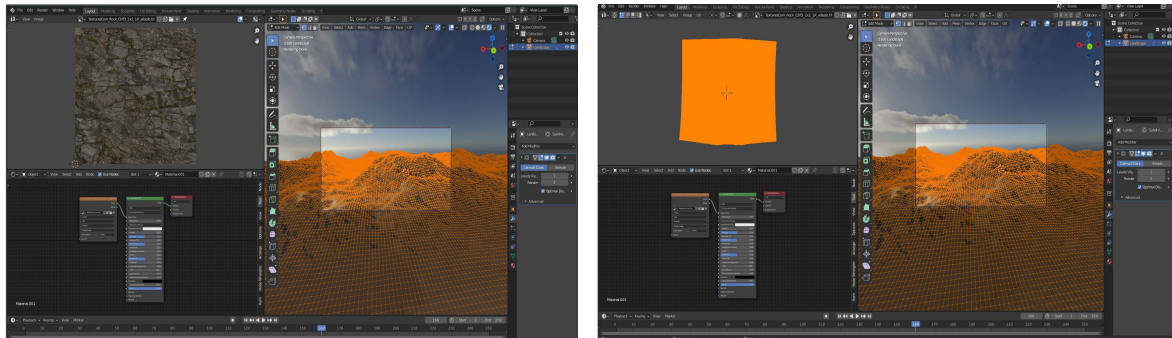


Figura 56. Visualización de las pantallas “Shader Editor” y “3D Viewport”.

Para incorporar la textura rocosa, se añadirá un nuevo nodo: “Image Texture”. Se conectará “Color” a “Principled Shader” (Base Color) y se cargará el material: TexturesCom_Rock_Cliff3_2x2_1K_albedo.tif. A continuación, se abrirá otra pantalla en la parte superior del “Shader Editor” y se seleccionará “UV Editor”. En este editor se cargará la imagen de la textura de rocas que se ha agregado al nodo “Image Texture”. En la pantalla de visualización 3D se entrará en el modo edición y se seleccionará toda la malla. Se presionará la letra U y a continuación “Unwrap”, de esta forma la malla de superficie se desenvolverá en un cubo en la pantalla del “UV Editor” y se ajustará la definición de la

textura (fig. 57 y 58). Se escalará el cubo mediante la tecla S hasta un tamaño de 40 aproximadamente.



Figuras 57 y 58. Visualización del “UV Editor” en el proceso de texturizado y acción “Unwrap”.

En “Shader Editor” se incorporará el nodo “Geometry” y “ColorRamp”. Se conectarán a través de “Pointress” y “Fac”. Se seleccionará el nodo “ColorRamp” y se presionará Shift+clíc izquierdo, añadiendo un visor unido al nodo de la salida de visualización “Material Output”. Moviendo el cursor de los tonos negros y el de los tonos blancos hacia la mitad, será posible apreciar cómo se transforma la superficie en un patrón de manchas negras y blancas. Las zonas blancas indican zonas de picos y las áreas oscuras muestran las zonas de vaguadas (fig. 59).

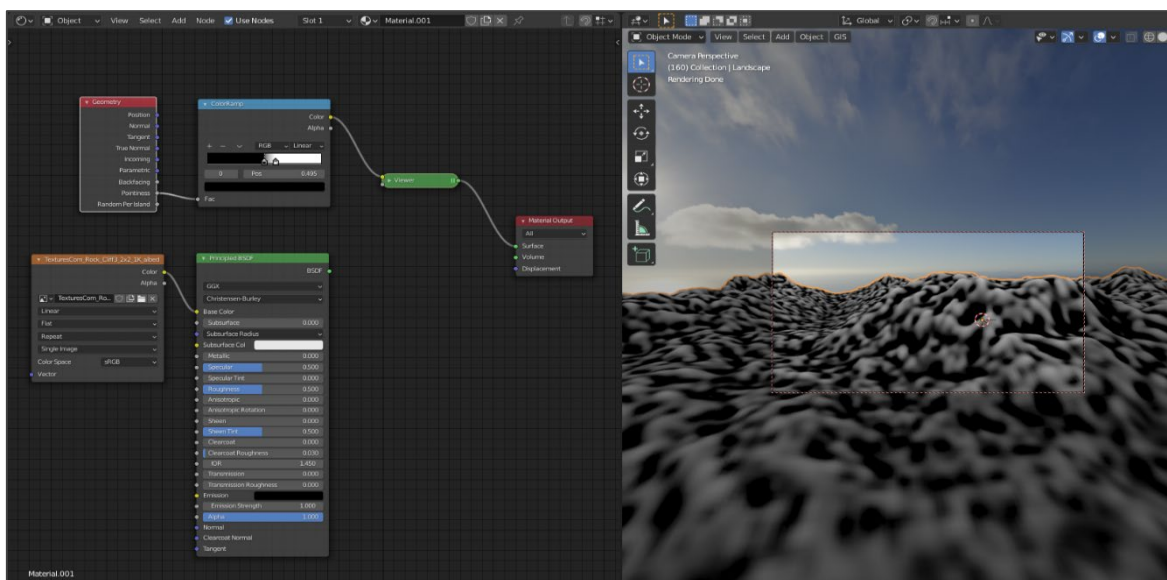


Figura 59. Visualización de las áreas de cumbre y vaguadas.

El siguiente paso consiste en mezclar las dos texturas, una de tipo rocoso y otra de vegetación ligera. Se añadirá el nodo “Mix Shader” y se conectará al nodo “Principled Shader”. A continuación, se duplicará el nodo “Principled BSDF” y se conectará a la segunda entrada del “Mix Shader”. Después, se tomará como modelo el patrón creado por “ColorRamp”, por

lo que se conectará al factor del “Mix Shader” y se presionará Ctrl+Shift+clik en “Mix Shader” para visualizarlo en el visor 3D. Los tonos blancos estarán en la parte superior y las zonas oscuras mostrarán las áreas rocosas (fig. 60). Para que las rocas estén en las zonas superiores se invertirán las conexiones y se creará un nuevo nodo “Math” que se colocará entre “ColorRamp” y “Mix Shader”. En el nodo “Math” se seleccionará “Multiply” con un valor de 2.7 para intensificar la rampa de color y visualizar más áreas rocosas. La visualización será posible mediante Ctrl+Shift+clik en “ColorRamp” y para volver a retocar las áreas rocosas mediante el nodo “ColorRamp” (fig. 61).

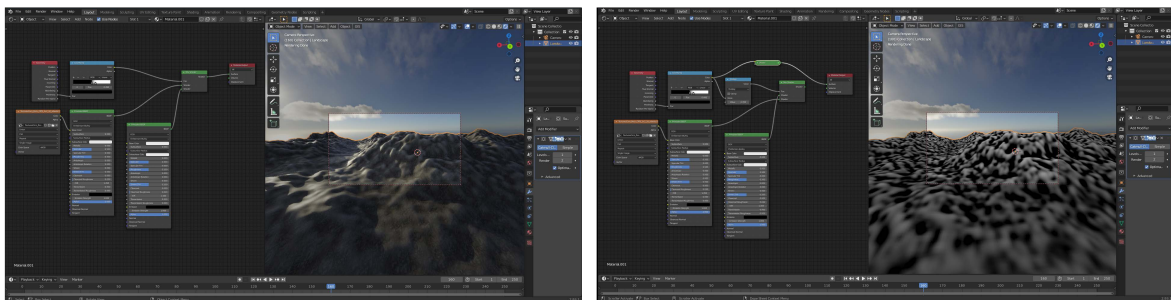


Figura 60. Resultado de los nodos “Mix Shader”, “ColorRamp” y “Math”/multiply. .

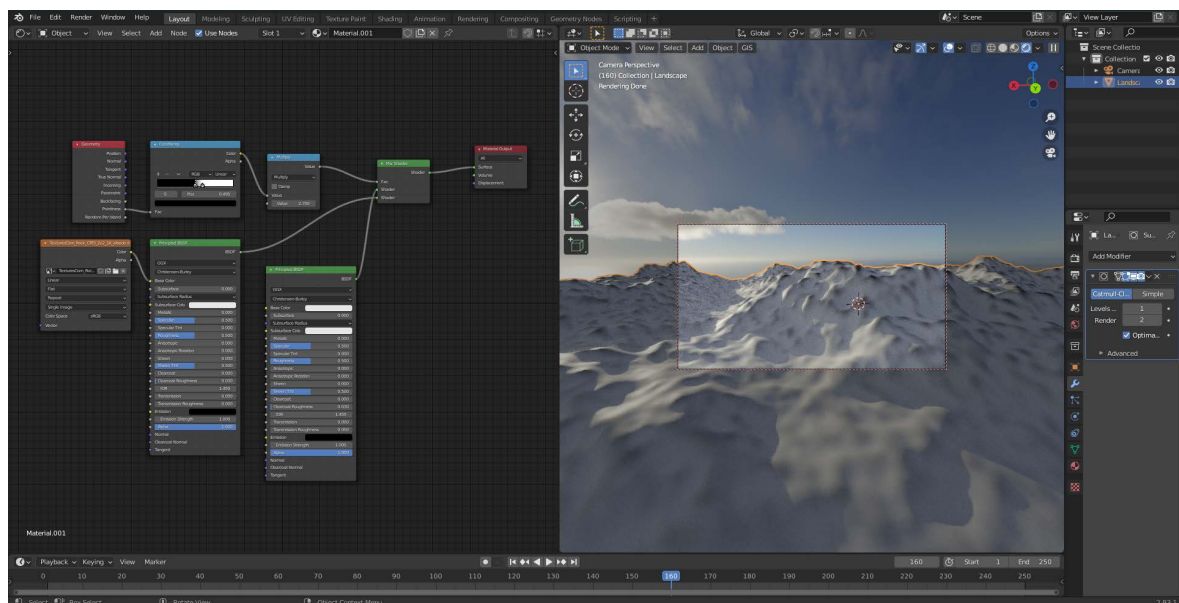


Figura 61. Ajuste de áreas de cumbre (tono oscuro) y zonas de vegetación (tono blanco).

Se añadirá una segunda textura mediante el nodo “Image Texture”, en este caso una textura de hierba: TexturesCom_Nature_Moss_1K_albedo.tif. Se conectará la textura (Color) al “Base Color” del segundo “Principled BSDF” y de esta forma se obtendrá una mezcla de rocas y vegetación. Se completará la escena añadiendo el resto de ficheros de textura, duplicando los nodos de “Image Texture” y cargando los ficheros (fig. 62 y 63).

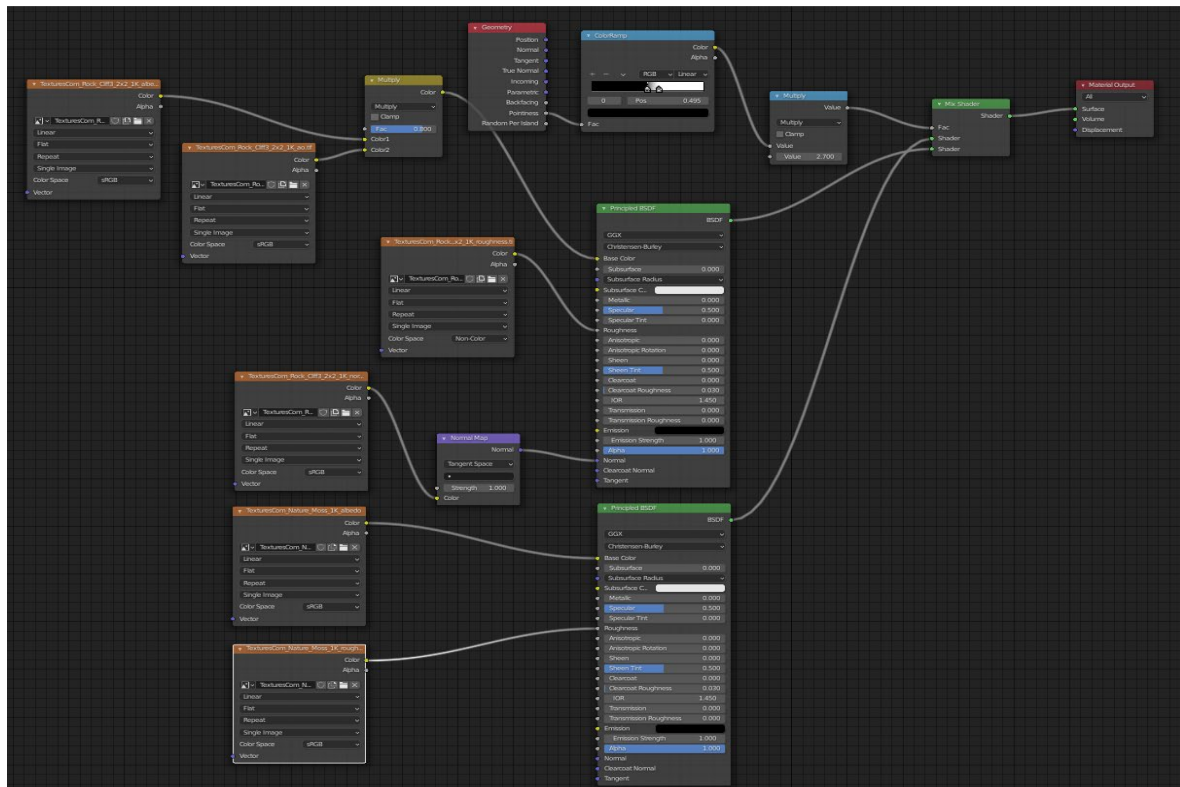


Figura 62. Estructura general nodos de textura vegetación y áreas rocosas.

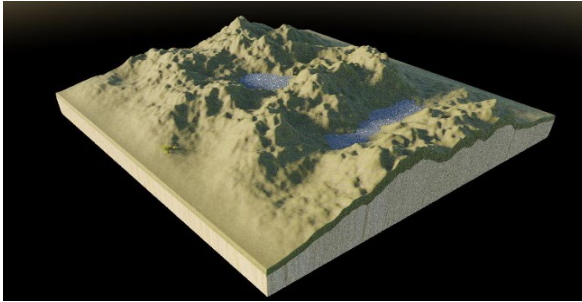


Figura 63. Detalle texturas área rocosa y vegetación ligera.

Para crear el bosque, se recopilará una selección de árboles de distintas formas y tamaños. Se creará una colección con ellos. A continuación, en el menú de propiedades/Particle Settings/New, se seleccionará el tipo “Hair” y se activará “Advanced”. En el menú Render se cargará la colección de árboles y se escalarán. Se seleccionará “Object Rotation” para que los árboles se posicionen verticalmente. Después, se crearán las masas de agua; en este caso serán dos (posteriormente se modificará). Se añadirán 2 mallas de tipo plano a las que se les asignarán las características descritas en el primer ejemplo (recreación de paisaje marciano), se cambiará el color y se le dará un tono más azulado. Se realizará una extrusión de la

superficie y se aplanará la base. Por último, se asignará un material a los bordes (fig. 64 y 65):

- Gravel_ground_01_diff_4k.jpg.



Figuras 64 y 65. Modelo 3D previo a la incorporación de la vegetación arbórea. Modelo 3D con la vegetación arbórea y los lagos.

Para distribuir los árboles y crear áreas sin vegetación, se seleccionará el modo “Weight Paint”, de esta forma las áreas en rojo indicarán zonas de alta densidad de árboles, y las áreas en azul, zonas despejadas. Para crear las zonas de vegetación se utilizará la herramienta “Draw” y para perfilar las zonas de cumbres y otras partes sin vegetación se utilizará la función “Extract” (fig. 66).

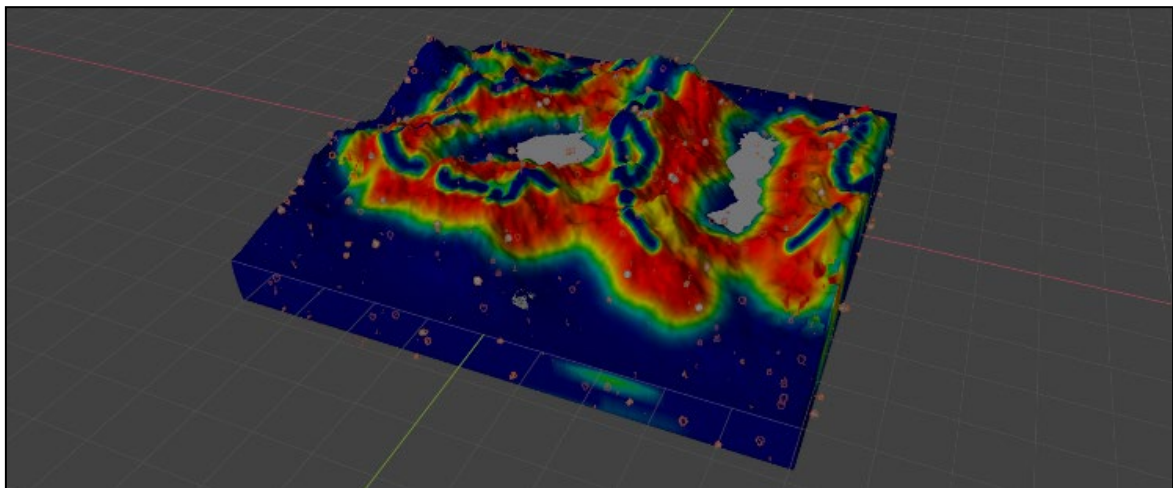


Figura 66. Proceso de extracción de áreas boscosas.

Como segunda opción, en uno de los espacios ocupados por uno de los lagos, se ha ubicado una construcción piramidal inspirada en el templo maya del dios “Kukulcán” (México, siglo XII d.C) (fig. 67 y 68). Mediante la herramienta “UV Editor” se ha ajustado la textura pétrea asignada:

- TexturesCom_Rock_Cliff3_2x2_1K_albedo.tif.



Figuras 67 y 68. Vista cenital del bosque con estructura piramidal (izda.) y laguna (dcha.). Vista semi aérea de la pirámide y el lago.

Análisis de los resultados de la recreación del paisaje natural.

La figura 64 (anterior página) muestra la primera imagen renderizada del paisaje natural al completo, aunque sin incluir la vegetación arbórea. El modelo muestra el lago y la estructura piramidal texturizada, además, se ha añadido a los bordes una textura arenosa para completar la estética. La imagen presenta en detalle una vista semi-aérea de la zona oeste del paisaje, que ofrece una perspectiva realista de la disposición de la pirámide y del lago. Las siguientes figuras muestran el paisaje con la vegetación arbórea. En la primera, (Fig. 67) se muestra la vista general del modelo. Se pueden apreciar las áreas donde se ha extraído parte de ella, principalmente en las zonas de cumbres. De esta forma se ha podido equilibrar la distribución de las zonas boscosas. Las siguientes imágenes presentan diferentes tipos de iluminación, con alturas e intensidades diversas para simular momentos distintos del día, como el mediodía y el atardecer (Fig. 68 y 69). En la última escena se da una vista en detalle de la pirámide y el resultado del proceso de texturización (fig. 70).

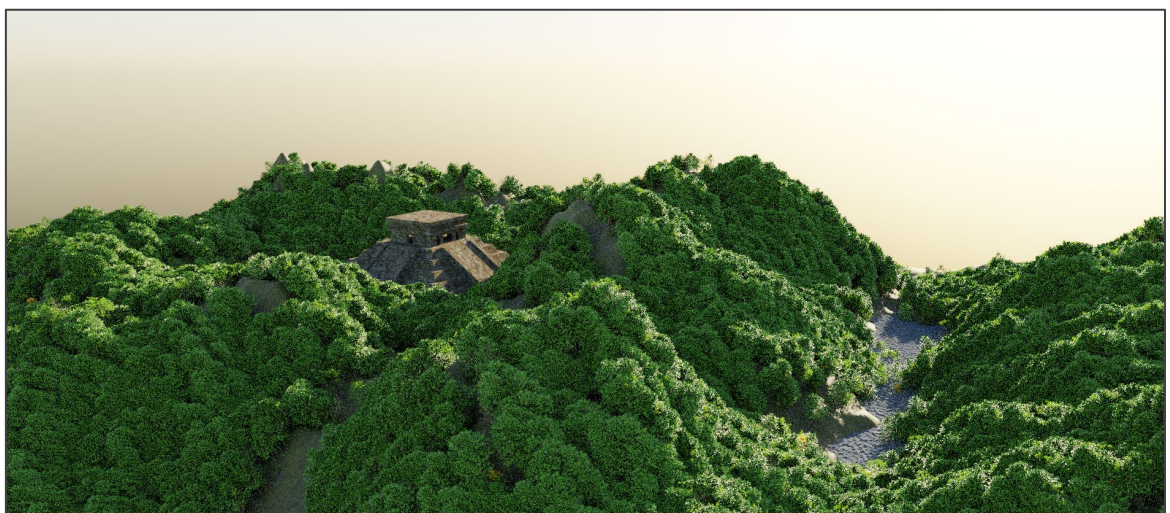


Figura 69. Vista isométrica de la zona de bosque, área de la laguna y pirámide maya (atardecer).



Figura 70. Detalle de pirámide maya y laguna.

4.3. Obtención del modelo 3D a través del complemento “BlenderGIS”

Como ya se ha explicado en el apartado “fuentes de información”, en este TFM se ha hecho uso de un *add-on* que permite extraer información tanto del relieve como de infraestructuras. En este ejemplo se va a utilizar el parámetro “Get Elevation (SRTM)” que permite obtener el relieve real de los datos obtenidos de la misión de la NASA. La zona de representación es el sector oeste del lago *Issyk-Kul* situado en las estribaciones nororientales de la cordillera del *Tian Shan*, al noreste de Kirguistán (fig. 71a). Es el segundo lago alpino más grande del mundo después del lago Titicaca (Andes), tiene una longitud de 182 km y una anchura de 60 km (superficie aproximada de 6.280 km²). A pesar de estar a 1.600 metros de altura nunca se congela, esto es causado por varios factores como la gran profundidad (668 m), la actividad termal y una ligera salinidad. Las características que presenta este lago endorreico de Asia Central lo hacen un lugar interesante y óptimo para presentar un modelo tridimensional, ya que el lago está rodeado de montañas que para su mejor visibilidad se han exagerado ligeramente y se pueden apreciar de forma representativa las diferentes alturas del relieve.

Complemento BlenderGIS

El primer paso será elegir la zona a representar, en “GIS/Web Geodata/Basemap” se visualizará un mapa del mundo base en el que se podrá hacer uso del zoom. Es posible buscar zonas, ciudades o elementos del paisaje determinados mediante la tecla G. Una vez elegida la zona, en este caso la descrita anteriormente, se hace el recorte mediante la tecla E. A continuación, en el menú del *add-on* seleccionaremos “GIS/Web Geodata/Get Elevation (SRTM)” para obtener el modelo de elevaciones (fig. 71b).

Mapa del noroeste de Kirguistán

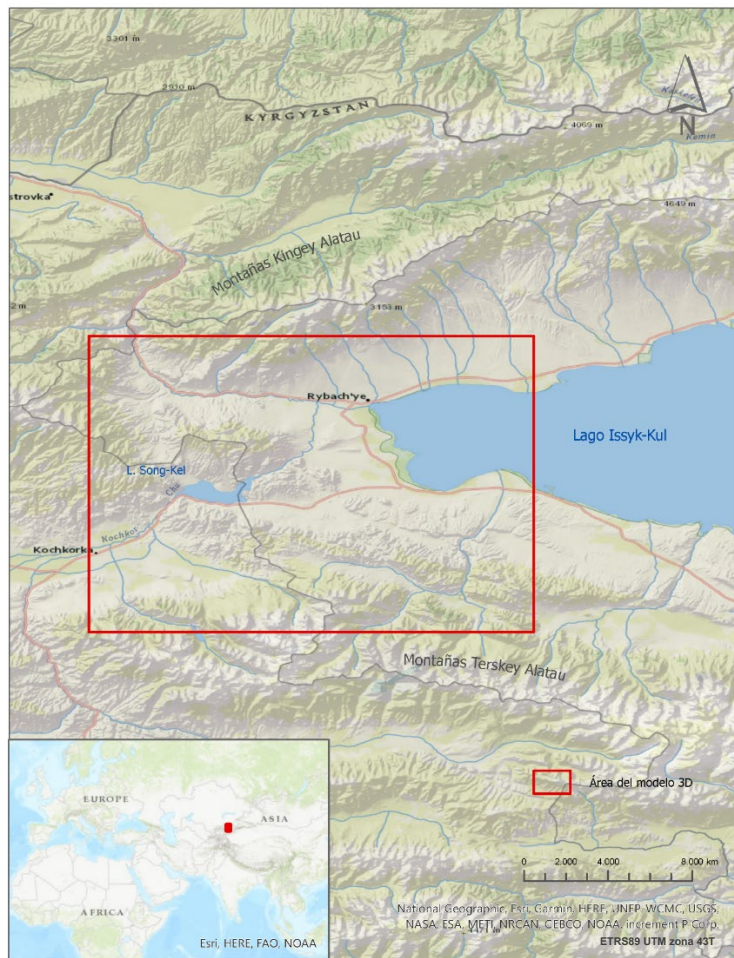
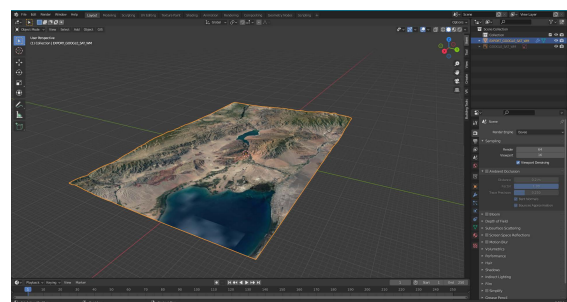
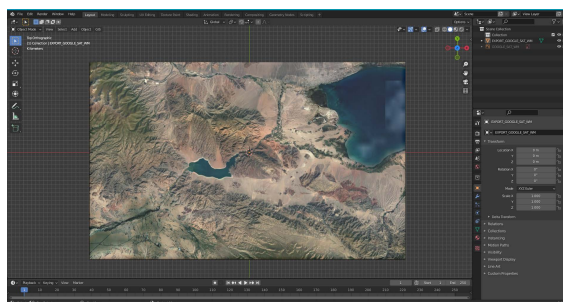
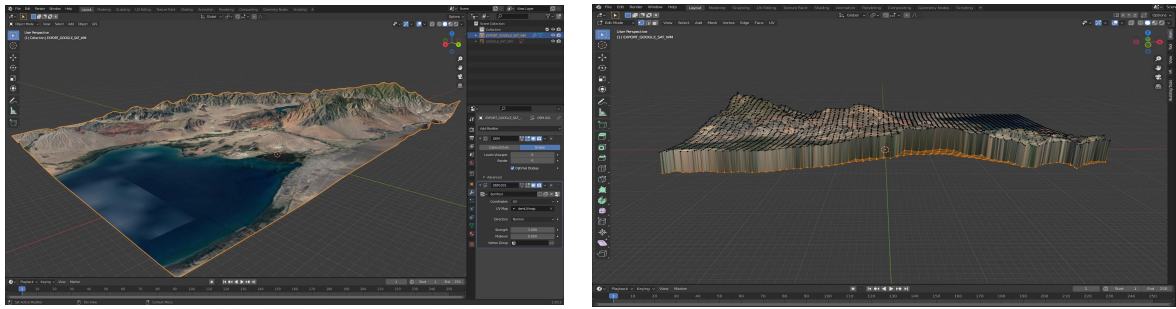


Figura 71a. Mapa de situación del modelo 3D.

Tras visualizar el modelo, en el menú de propiedades generales es posible exagerar un poco la altura, aumentando el valor de z por ejemplo, a 1,75. (fig. 72) . Posteriormente, se aplicará los dos modificadores: DEM y DEM 001 (fig. 73). Se pasará al modo edición para poder crear la base del modelo y se seleccionará todo hasta que la malla esté totalmente en color naranja. Se presionará la tecla E para realizar la extrusión, dirigiendo el cursor hacia abajo se visualizará el grosor y al presionar la tecla “intro” se detendrá el proceso (fig. 74).



Figuras 71b y 72. Recorte del área del modelo. Visualización del modelo tras la extracción de los datos de elevación.



Figuras 73 y 74. Menú Propiedades, aplicación de los modificadores. Extrusión de la base del modelo.

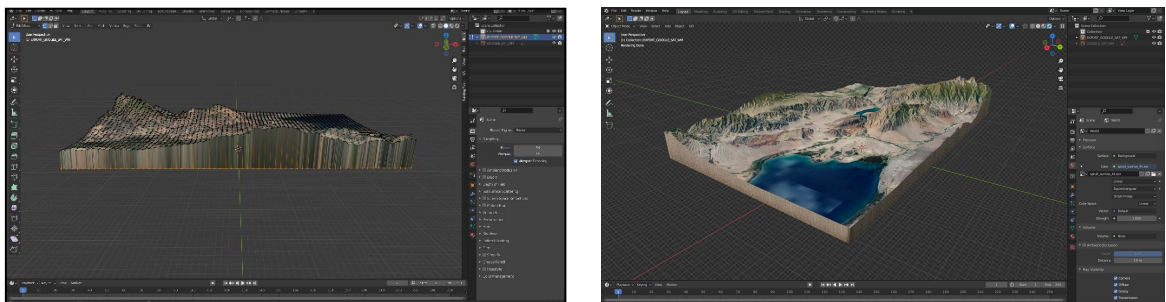
Como resultado la base es muy irregular, ya que sigue las formas del relieve de la superficie. Para aplanar la base se presionará S+Z+0+Intro (fig. 75). El siguiente paso a seguir es ofrecer una mejor imagen al modelo añadiendo una textura adecuada a los bordes. Para ello, primero se seleccionarán los bordes mediante la combinación de teclas Control+Alt+ clic en el borde. Se asignará el nuevo material: en “Material Properties”, añadiendo material (+) y a continuación presionando “New”:

- Surface: DiffuseBSDF.
- Color: Image Texture/open, añadimos el material: sandstone_cracks_nor_gl_4k.exr.
- Edit Mode: Assign (comprobar que los bordes y la base están seleccionados).

Se cargará el archivo HDRI, obtenido en: www.textures.com y se asignará el HDRI en “World Properties”/Color/Environment texture/Open/ Spruit_sunrise_4k.exr. Se configurarán los parámetros del renderizado en “Render Properties”/Render Engine: Cycles/Feature set: Supported/Device: CPU compute:

- Color Management/Look: Medium High Contrast.
- Film: Transparent.

Finalmente, se cambiará a la vista “Viewport Shading: Rendered” (fig. 76).



Figuras 75 y 76. Aplanamiento de la base del modelo. Modelo 3D con textura en los bordes.

Mejora de la definición de la imagen del modelo

En primer lugar, se abrirá otra pantalla con “Shader Editor”:

- Shift+A-- Vector/Bump (conectar “Color”-Export_Google_Sat_WM a “Height-Bump”).
- Strength y Distance: 5.

Se creará el nodo “Input/Ambient Occlusion” (conectar “Color” a “Surface” “Material Output”) y poner la distancia a 25. Para amplificar el efecto del nodo “Ambient Occlusion” se añadirá el nodo “Converter/Math” entre los nodos “Ambient Occlusion” y “Material Output” y se cambiará a “Power”. Se variará el valor de “Distance” (Ambient Occlusion) y “Exponen” (Power):

- Distance: 4.7.
- Exponen: 11. 1.

Se añadirá el nodo “Color/Mix RGB” y se colocará entre los nodos “Export_Google_Sat_WM” y “Principled BSDF”. Se cambiará a “Multiply” y se conectará el nodo “Value” (Power) a “Color 2” (Mix). Para mejorar la textura de los bordes del modelo, en “Material Properties”, se añadirá nuevo material y, a continuación, aparecerán dos nodos en el “Shader Editor”:

- Principled BSDF.
- Material Output.

Se seleccionará el nodo “Principled BSDF” y se presionará Control+Shift+T para cargar los cuatro ficheros que aportarán una mejor calidad a la textura.

- sandstone_cracks_diff_4k.jpg.
- sandstone_cracks_disp_4k.png.
- sandstone_cracks_nor_gl_4k.exr.
- sandstone_cracks_rough_4k.jpg.

Se asignará este material a los bordes del modelo en modo edición y seleccionando “Face Select”. Se presionará el 3 del teclado numérico Alt/clic izquierdo del ratón en el borde del modelo y en “Material Properties” se vinculará la nueva textura (fig. 77).

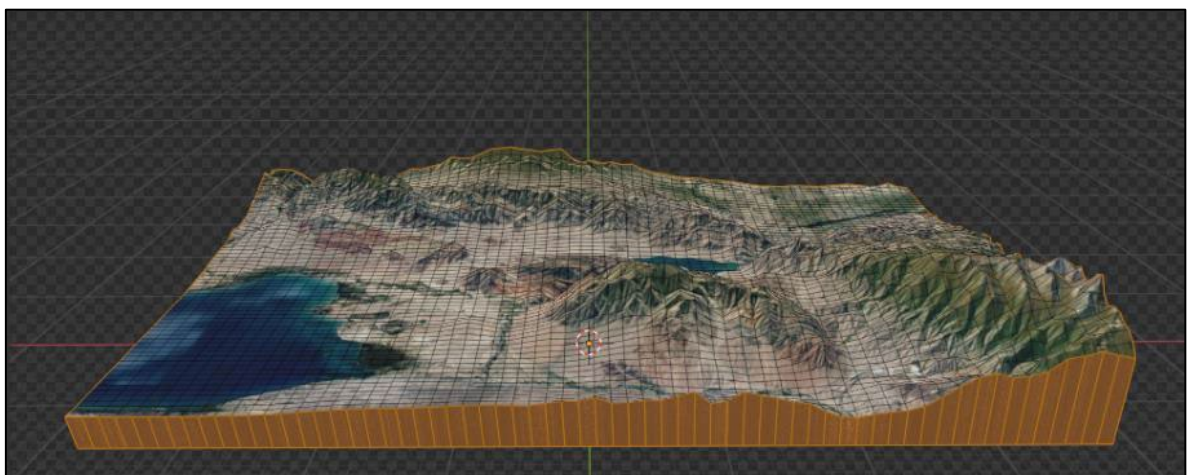
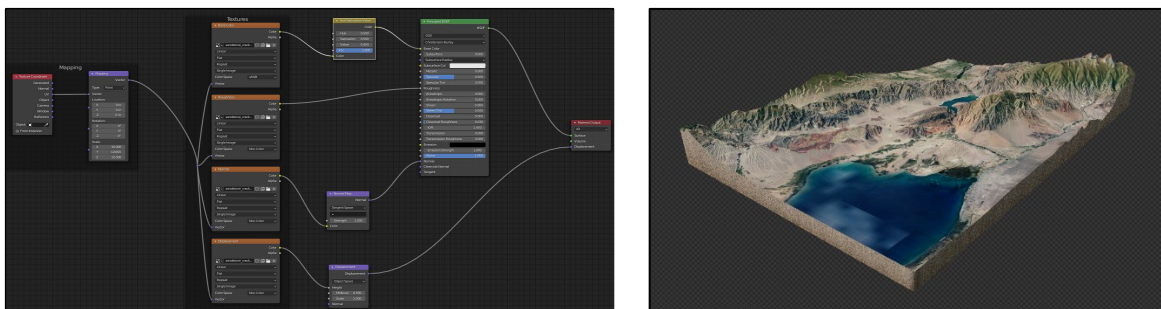


Figura 77. Selección de los bordes del modelo.

Por último, en “Shader Editor”, se seleccionará el nodo “Mapping” y se aumentará la escala a 10 (x,y,z). Se creará el nodo “Hue Saturation Value”, situándolo entre “Textures” y “Principled BSDF” y se cambiará “Value” a 0.4 y “Saturation” a 0.5 (fig. 78, 79, 80, 81).



Figuras 78 y 79. Asignación de materiales y vista completa de la estructura de nodos. Modelo 3D con las mejoras.

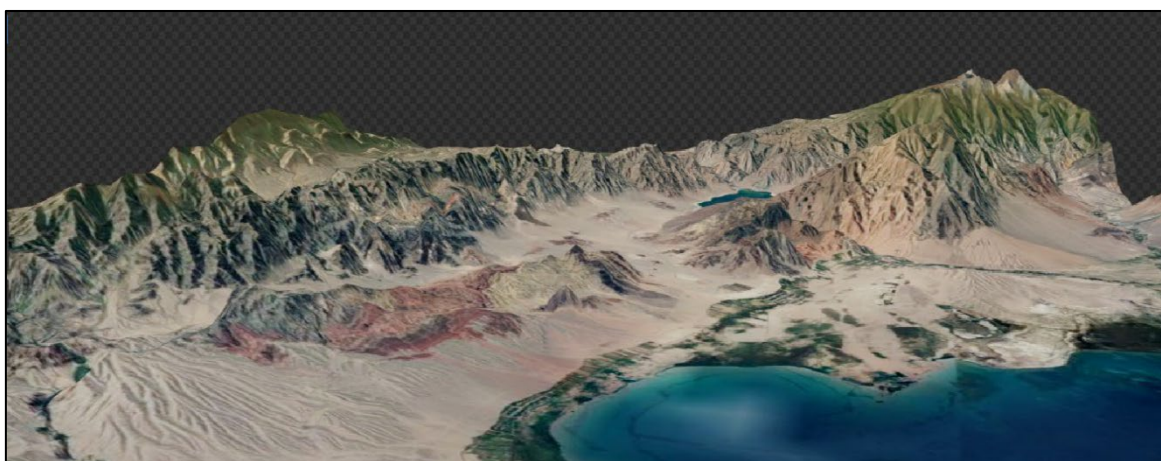


Figura 80. Plano en detalle desde la zona este del lago.

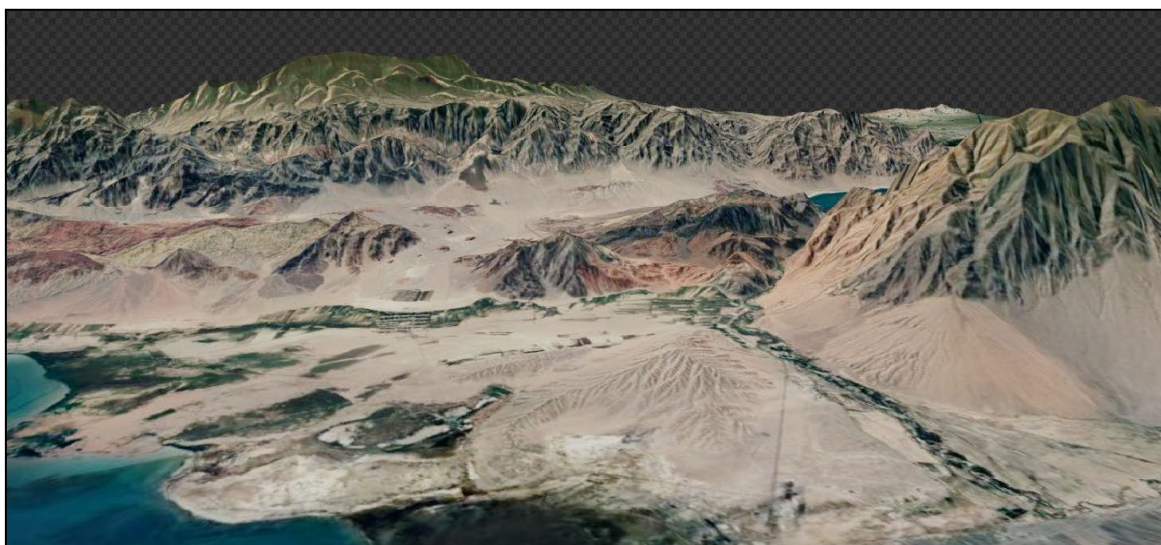
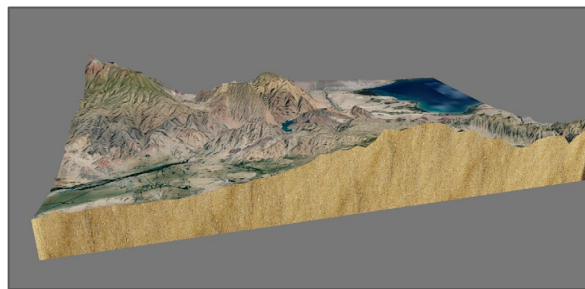
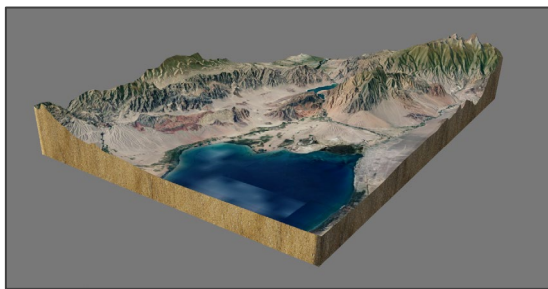


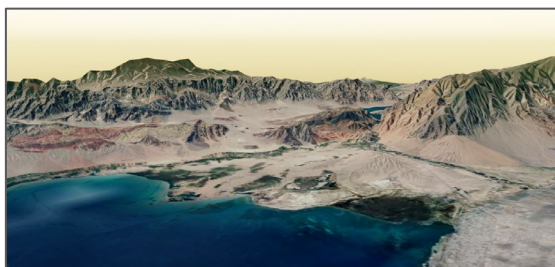
Figura 81. Vista isométrica desde la zona norte del lago.

Análisis de los resultados del modelado del relieve en 3D

Las imágenes renderizadas muestran diferentes perspectivas desde áreas cercanas al lago *Issyk Kul*. El modelo ha sido mejorado mediante la variación de texturas mejorando su definición inicial. Como fondo se ha elegido un cielo tipo “Sky Texture” para dar mayor realismo a la escena. Por ejemplo, el modelo y las diferentes vistas podrían ser útiles para el reconocimiento de las formas de relieve. En las imágenes se reconocen algunas formas de modelado. Los modelos podrían ser útiles como recurso didáctico en clases de geomorfología o geografía física (fig. 82, 83, 84, y 85).



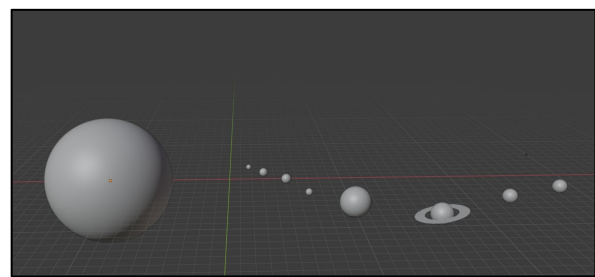
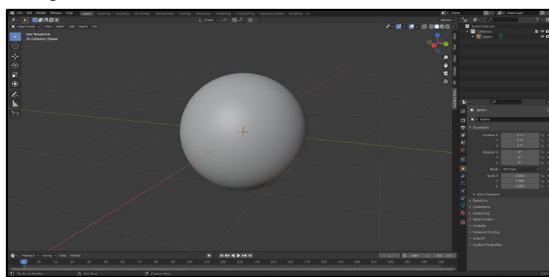
Figuras 82 y 83. Vista general del modelo 3D. Vista general del modelo 3D sector Sur.



Figuras 84 y 85. Vista en detalle del área este del lago Issyk Kul. Vista en detalle desde el área oeste del lago Song Kol.

4.4. Modelización 3D del Sistema Solar

El siguiente modelo tridimensional representa el Sistema Solar con los planetas y el Sol. Para ello se han realizado ajustes de iluminación mediante la incorporación de una lámpara, asignación de texturas y creación de un video donde se muestra información de cada planeta. Para este último proceso se ha utilizado el editor de video que ofrece Blender. En primer lugar, para crear los planetas y el Sol se deberá añadir una esfera: Add/Mesh/Uv Sphere. Para que muestre un aspecto uniforme se indicará que tenga 180 segmentos y 90 anillos, de esta forma la esfera tendrá un aspecto más liso. A continuación, en el menú “Object”, se seleccionará “Shade Smooth” (fig. 86). Se utilizará el motor de renderizado *Eevee*. Una vez obtenida la esfera con las modificaciones, se duplicará 8 veces (Ctrl+C/Ctrl+V) para hacer los planetas, y la esfera original se reservará para el Sol. Después, se escalarán las esferas (tecla S) siguiendo una proporción no ajustada a la realidad, sino a un tamaño suficientemente representativo como para que puedan verse los distintos volúmenes. Para crear el anillo de Saturno se añadirá una malla tipo “torus”, se escalará en $y=0$, y de esta forma el anillo quedará plano (fig. 87). Se asignará la textura: 8k_saturn_ring_alpha.png y se ajustará en el “UV Editor”.



Figuras 86 y 87. Vista de la esfera sin el facetado. Vista general del modelo del Sistema Solar.

Para crear el Sol, seleccionaremos la esfera más grande y se visualizará la escena en “Viewport Shading: Rendered”, se situará el cursor 3D en el centro del Sol (Ctrl+S/Cursor to Select) y se añadirá una lámpara (Add/Light/Sun). El foco de luz se colocará en el centro de la esfera, por lo que habrá que moverla y ponerla entre el Sol y el planeta más cercano (Mercurio). Se girará la lámpara hasta que la sombra tenga un ángulo de 70° aproximadamente (fig. 88).

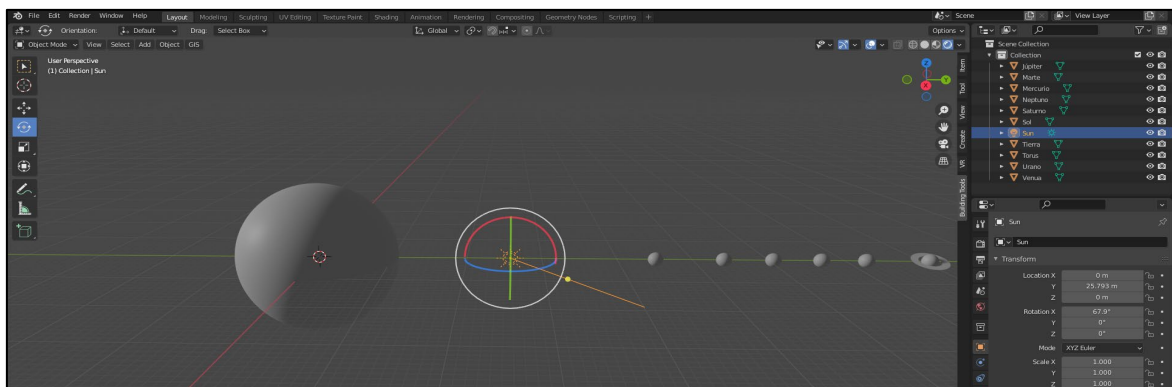


Figura 88. Ubicación de la lámpara solar y ángulo de incidencia.

Se añadirá el efecto que otorga al Sol la propiedad de emitir luz: Materiales/New/Surface: Emission. En “Color” se seleccionará “Image Texture” y se cargará la textura: 8k_sun.jpg. En “Material properties”/Strenght se aumentará la intensidad de la luz emitida por el Sol (fig. 89).

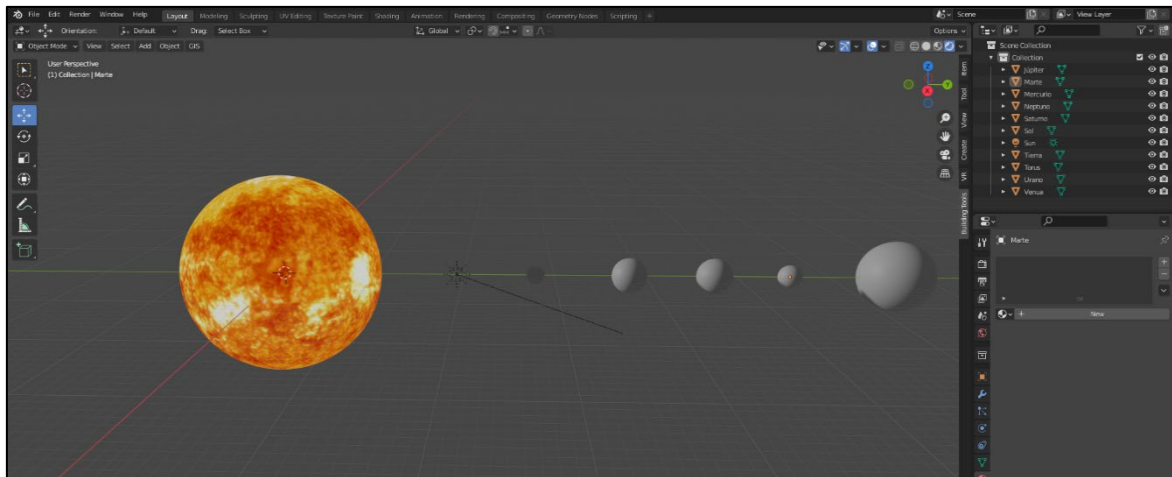


Figura 89. Esfera solar texturizada.

Se seguirá el mismo procedimiento con el resto de planetas y se añadirán las texturas:

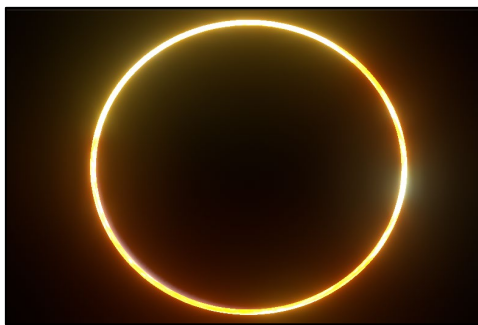
- 8k_mercury.jpg.
- 8k_venus_surface.jpg.
- 4k_venus_atmosphere.jpg.
- 8k_earth_daymap.jpg.
- 8k_earth_clouds.jpg.
- 8k_mars.jpg.
- 8k_jupiter.jpg.
- 2k_neptune.jpg.
- 2k_uranus.jpg.
- 8k_saturn.jpg.
- 8k_saturn_ring_alpha.png.

En “Render Properties” se seleccionarán: “Ambient Oclussion”, “Bloom” y “Screen Space Reflections”. Para variar el fulgor de la atmósfera de los planetas se cambiarán los parámetros de “Bloom” hasta conseguir el efecto deseado. Para mejorar las texturas y la calidad de las sombras en “World Properties” se modificará el color a negro. Seguidamente, se ubicarán los planetas de forma que creen una curva desde el Sol y permitan una mejor perspectiva para la cámara. El video demostrativo consta de 3 escenas:

- Eclipse.
- Aproximación a Marte.
- Recorrido de los planetas y visualización de información.

Eclipse

Para la realización del eclipse se añadirá una cámara (Add/Camera) y se colocará detrás de planeta en posición perpendicular “Object Properties”: Rotation $x = 90$, $y = 0$, $z = -180$. Se acercará la cámara hasta que se vea ligeramente el anillo solar (fig. 90). En este caso, solo se va a mover el planeta. Se sacará la pantalla de “Timeline”. Se ajustará el tiempo de duración de la escena (150 frames). Se seleccionará el planeta y se fijará la posición final en el menú “Object Properties” (location x,y,z). A continuación, se indicará el punto de partida y se fijará la posición (x,y,z) en el menú “Object Properties” (fig. 91).



Figuras 90 y 91. Vista frontal de la cámara. Vista del menú Object Properties.

Aproximación a Marte

Se sacará la pantalla de “Timeline” para colocar los *keyframes* en cada momento y añadir los movimientos. Se creará el encuadre y se seleccionará cada planeta para marcar las rotaciones. Los giros se harán de la misma forma que en el eclipse, marcando los *keyframes* tras crear el movimiento. Todos los planetas, así como el Sol, giran sobre sí mismos para dar una mayor sensación de realidad. La escena está formada por un timeline general de acercamiento y otro timeline por cada uno de los giros de los planetas. El total de *frames* es de 220 (fig. 92).

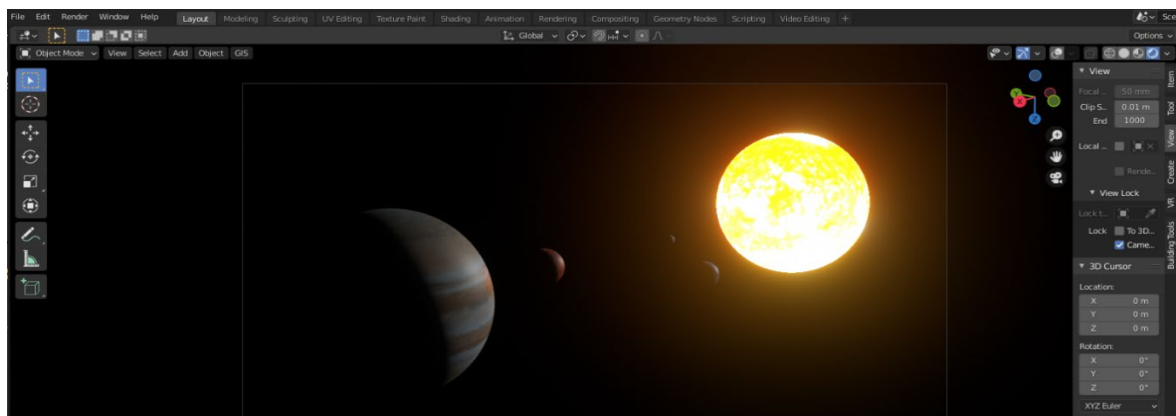


Figura 92. Ubicación de los planetas y disposición de los keyframes en el Timeline.

Recorrido de los planetas y visualización de información

En el “Timeline” se colocarán los *keyframes* en los movimientos tanto generales de la cámara, como individuales de los giros de rotación de los planetas y el Sol (fig. 93). Después de realizar el montaje de la escena, se pasará a renderizar la imagen para posteriormente abrir el vídeo en el editor e incorporar la información y la pista de música. El total de *frames* es de 4.400.



Figura 93. Secuencia de montaje y ubicación de *keyframes* en el timeline.

Al finalizar el proceso de renderizado de la animación (Render/Render Animation), en el editor de video se incorporarán las secuencias del eclipse, la de aproximación a Marte y el recorrido de los planetas. En la parte inferior se añadirá la pista con la música elegida para la composición:

- Mass Effect – Uncharted Worlds Extended. Mp3.

Se ajustarán las transiciones con las opciones de “fade in/fade Out”. Finalmente, se incorporará la información de cada planeta añadiéndola como texto (Fig. 94).

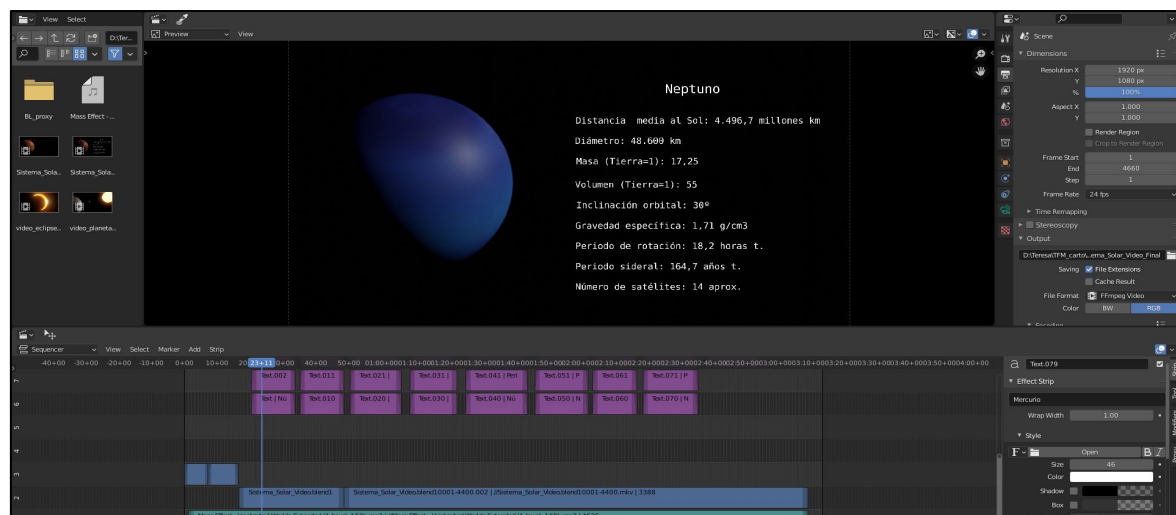


Figura 94. Vista del espacio de edición de video.

Análisis del resultado del modelado y animación 3D del Sistema Solar.

El resultado de las imágenes renderizadas del Sistema Solar se muestra en las figuras 94a y 94b.

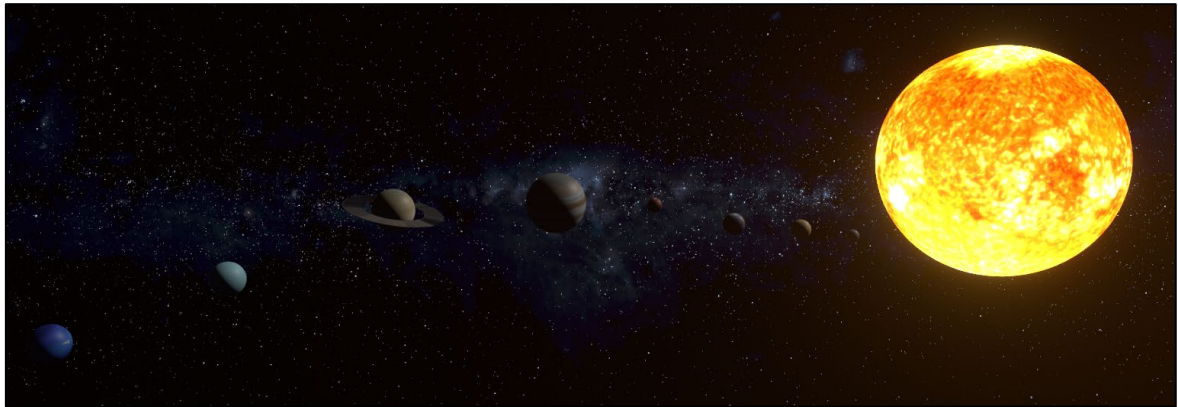


Figura 94a. Vista del Sistema Solar con renderizado Eevee.

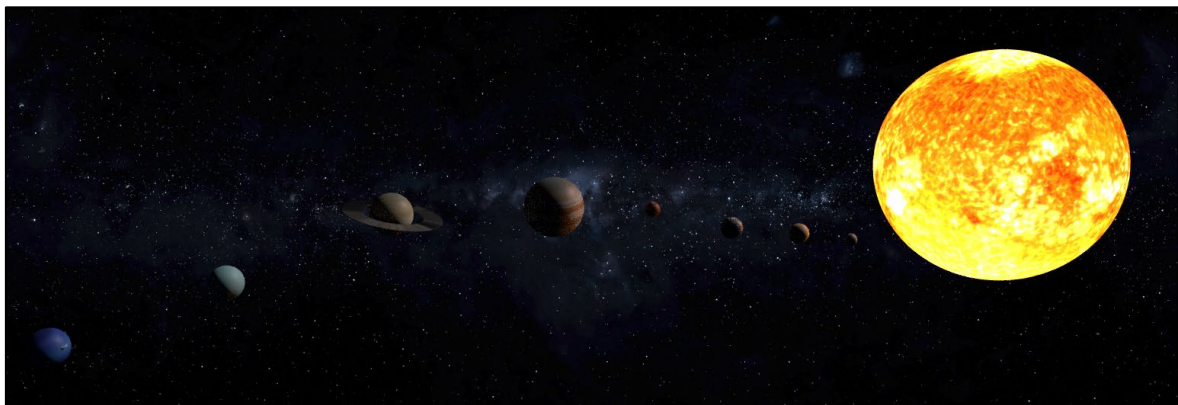


Figura 94b. Vista del Sistema Solar con renderizado Cycles.

En estas dos imágenes se ha cargado como imagen HDR un fondo estrellado (milky-way-2695569_1920.jpg), pero solo se ha incorporado para realizar el renderizado de la imagen general, ya que al intentar crear el video la imagen carecía de dinamismo y en el transcurso de las secuencias el fondo se mantenía estático, por lo que se decidió eliminarlo en el proceso de edición del video. Asimismo, se muestran dos imágenes con motores de renderizado distintos, las diferencias no son muy destacables. En cambio, para la creación del video se ha utilizado el motor *Eevee*, ya que el *Cycles* ralentizaba mucho el proceso de visualización haciendo imposible la creación de un video. El plano general del Sistema Solar presenta el Sol y el resto de planetas que lo compone. Respecto al video la composición audiovisual consta de tres partes: simulación del eclipse, aproximación a Marte y vista general del Sistema Solar con información básica de cada planeta.

- **Enlace del video "Recreación del Sistema Solar" (versión 1080p HD):**

<https://drive.google.com/file/d/1t4iH8JW4BriVRIFKl-5TZMIOSv8oz4Ka/view?usp=sharing>

5. Conclusiones y futuras líneas de investigación

La representación del espacio en tres dimensiones cada vez es más frecuente y un recurso cada vez más demandado por la sociedad, posiblemente en relación con la aparición de *Google Earth*, y su uso estandarizado. En este sentido, la mayor parte de las Tecnologías de la Información Geográfica incluyen herramientas y técnicas de geovisualización 3D.

En este trabajo fin de máster se ha empleado el programa de modelado Blender para la recreación de varios paisajes imaginarios en 3D, la mejora de calidad de la representación del relieve y, finalmente, el modelado y animación 3D del Sistema Solar.

Los ejemplos han sido elaborados a través de diferentes métodos y técnicas, agrupadas dentro de lo que se conoce en cartografía como geovisualización o visualización geográfica. En la recreación del paisaje marciano se han empleado herramientas de modelado procedural y aplicación de texturas mediante la creación y configuración de nodos en el “Shader Editor” de Blender, de esta forma se han conseguido efectos y texturas realistas en los renderizados obtenidos.

En el ejemplo del paisaje natural, al que se ha incorporado una estructura arquitectónica, se empleó un modelo 3D incluido en el software. Esto permitió mostrar que es posible partir de un modelo del terreno predeterminado y personalizarlo según las necesidades del usuario. El paisaje se completa mediante la incorporación de cuerpos de agua, vegetación, (también creada mediante metodología procedural) y, por último, se añadió una estructura piramidal, “Templo de Kukulkán”, a la que se le asignó una textura de tipo pétreo editada en el “UV Editor” para corregir posibles defectos de tamaño de grano y adaptarla a la estructura 3D. El resultado puede ser útil para estudios de arqueología, y así reflejar el paisaje característico de una civilización antigua.

El tercer ejemplo, el modelado del relieve del entorno del lago *Issyk-Kul*, no fue creado directamente, sino que a través del complemento BlenderGIS se obtuvo el relieve del área de estudio y luego se mejoró su calidad. Este procedimiento permite trabajar con datos geoespaciales de gran exactitud, por ejemplo, en este caso información de la misión de la NASA STRM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Con el ejemplo se ha mostrado que es posible la edición del modelo digital de elevaciones, añadir texturas a los bordes, cambiar la iluminación e incluso incluir objetos 3D a la escena. Otra posibilidad del complemento es la creación de modelos urbanos mediante la plataforma *OSM* (*Open Street Map*), como se ha mostrado en la figura 17. Aunque el ejemplo no se ha desarrollado, también cabe resaltar que es posible, a partir de la información extraída de *Open Street Map* generar modelos tridimensionales donde se representan las edificaciones, que posteriormente pueden ser editadas a través de asignación de texturas y creación de nuevas infraestructuras para completar el modelo.

El último ejemplo muestra cómo la texturización y la iluminación son fundamentales a la hora de crear un producto audiovisual, función que Blender ofrece de forma básica pero eficiente para un nivel no profesional, en este caso para elaborar un video de carácter divulgativo, donde se realiza un recorrido por el Sistema Solar con información básica de cada cuerpo celeste.

Con respecto al programa utilizado, Blender y sus funcionalidades han mostrado ser una herramienta muy valiosa para la representación del espacio. Permite la creación de entornos de gran realismo, así como la extracción de información geográfica de plataformas como *Google Earth* o *OSM*. Al ser un software muy utilizado en estos momentos, es posible encontrar abundante información y complementos que posibilitan la mejora de sus funcionalidades y la obtención de resultados profesionales sin necesidad de ser un experto en diseño 3D.

Las dificultades encontradas han sido las relativas al tema técnico, concretamente a la memoria RAM, ya que el equipo con el que se ha trabajado no contaba con una gran capacidad. Los principales inconvenientes provenían de la generación de elementos procedurales, debido a que la incorporación de muchos objetos a la escena provocaba que los modelos pesaran en exceso y fueran difíciles de manejar (primer y segundo ejemplo). Esto también ocasionó problemas en el proceso del renderizado, ralentizándolo y creando zonas sin procesar.

Una vez visto de forma general cómo es el proceso de modelado 3D y sus posibilidades, un segundo paso sería la incorporación de otras técnicas de animación a los modelos tridimensionales. Esto enriquecería y ampliaría las aplicaciones de este software, ya que podría ser utilizado para temas relacionados con el medio ambiente, como, por ejemplo, para modelizar riesgos naturales, creando simulaciones muy útiles para prever posibles desastres.

A lo largo de estos meses de aprendizaje, se han encontrado complementos que podrían posibilitar este nuevo camino, como por ejemplo *Flip Fluids*, aplicación que permite la animación de líquidos, muy útil para la recreación de ríos, torrentes, tsunamis, etc.

La ventaja de este software es que está vivo y crece día a día gracias a las aportaciones de los usuarios y al continuo crecimiento de la creación de contenidos 3D.

6. Bibliografía

ABT, C.C. (1987). Serious Games. Lanham. University Press of America.

ALLEN, T.R. (2008). Digital terrain visualization and virtual globes for teaching geomorphology. *Journal of Geography*, 106:6, 253-266, doi:10.1080/00221340701863766.

BENTLEY (en-línea). Ayuda MicroStation CONNECT Edition. Trabajar con diseños completos > Visualización > Introducción a Rendering. Dirección URL: <https://docs.bentley.com/LiveContent/web/MicroStation%20Helpv16/es/GUID-ACFEC855-805B-90D8-34DC-7003C22E48AE.html> [Fecha de consulta: 21/08/21].

BLENDER 2.91. REFERENCE MANUAL (2020). Rendering. Disponible en: <https://docs.blender.org/manual/es/2.91/render/index.html>

BLOCHEL, K., GENIVIVA, A., MILLER, Z., NADARESKI, M., DENGOS, A., FEENEY, E., MATHEWS, A., NELSON, J., UIHLEIN, J., FLOESER, M., SZARZYNSKI, J. y TOMASZEWSKI, B. (2013). A serious game for measuring disaster response spatial thinking. *esri.com summer*. Disponible en: <https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/a-serious-game-for-measuring-disaster-response-spatial-thinking/>; <https://www.esri.com/about/newsroom/wp-content/uploads/2018/11/seriousgame.pdf>.

CUADRON, R. y NICQ, P. A. (2015). *Blender 3D By Example*. Birmingham. Packt Publishing.

DESTOMBES, M. (1978). Globes en relief du XVIIIe siecle. Bemietner, E., and Aurada, F. eds. *Der globusfreund: Wissenschaftliche zeitschrift für globographie und instrumentenkunde*. Nr. 25–27. Wien, Germany: Festschrift zum 25j"Bestand des Coronelli-Weltbundes der Globusahrigen freunde. p. S.225–S.231.

DOYLE, F.J. (1978). Digital terrain models: an overview. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44(12), pp. 1481- 1485. Disponible en: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1978journal/dec/1978_dec_1481-1485.pdf

DÜBEL S.Y SCHUMANN H. (2017). Visualization of Features in 3D Terrain. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 6. 357. 10.3390/ijgi6110357.

FELICÍSIMO, Á. M. (1994). Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales. Oviedo. Pentalfa. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/232423519_Modelos_Digitales_del_Terreno_Introduccion_y_Aplicaciones_en_las_Ciencias_Ambientales

FISHER, G. (2012). Blender 3D Basics. Birmingham. Packt Publishing. Disponible en: <https://ucm.on.worldcat.org/v2/oclc/798535899>

GEKKER, A. (2010): (Mini) Mapping. the game -space: a taxonomy of control. En Rasch, M. (2016). Playful mapping in the digital age, 21, pp. 134-155. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/311716122 Playful mapping in the digital age](https://www.researchgate.net/publication/311716122_Playful_mapping_in_the_digital_age)

GOTLIB, D. y CHĄDZYŃSKA, D. (2016). Maps in video games. Range of applications. Polish Cartographical Review. 47. 137–145. 10.1515/pcr-2015-0011.S

HOROWITZ, S. S. y SCHULTZ, P.H. (2014). Printing Space: Using 3D Printing of Digital Terrain Models in Geosciences Education and Research. Journal of Geoscience Education, 62, pp. 138–145.

INTEF (en-línea). Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. Modelado 3D con Blender. Ministerio de Educación y Formación Profesional. Gobierno de España. Dirección URL: <http://descargas.pntic.mec.es/mentor/visitas/DemoModeladoBlender/index.html> [Fecha de consulta: 21/08/21].

IRACI, B. (2013). Blender Cycles: Lighting and rendering cookbook. Birmingham. Packt Publishing. Disponible en: <https://ucm.on.worldcat.org/v2/oclc/868930344>

IRENDER. (2020). GPU renderers for the real world. Disponible en: https://irendering.net/gpu-renderers-for-the-real-world/?camp={Search EU Convert}&gclid=Cj0KCQjwssyJBhDXARIsAK98ITQRkVquQrOlwe7U_uY5mHMd0aBXsAli9FvG9bz5mpIrww5XP3VuJ7EaAlTqEALw_wcB

JOLY, F. (1988). La cartografía. Barcelona. Oikos-Tau.

LEWIS, G.M y HAMPTON, S.J. (2015). Visualizing volcanic processes in SketchUp: An integrated geo-education tool. Computers&Geosciences. 81, pp. 93-100.

MARTÍNEZ DE PISÓN, E. y CASTAÑÓN ÁLVAREZ, J. C. (2006). Evolución del empleo de los bloques diagrama en la representación gráfica del relieve. En Ortega Cantero, N. (2006), Imágenes del paisaje. Madrid: Fundación Duques de Soria-Universidad Autónoma de Madrid, pp 101-48.

MCCAFFREY, K., HOLDSWORTH, R., CLEGG, P., JONES, R. y WILSON, R. (2003). Using digitalmapping tools and 3-D visualisation to improve undergraduate fieldwork. Planet, 11:1,34-37, doi: 10.11120/plan.2003.00110034.

MENDOZA, E.T. (2020). Creating Game Environments in Blender 3D. Learn to Create Low Poly Game Environments. New York. Apress. L.P.

- MENDOZA, E.T. (2020). Modeling and Animation Using Blender : Blender 2. 80: the Rise of Eevee. Berkeley. Apress L.P. Disponible en: <https://ucm.on.worldcat.org/v2/oclc/1132419826>
- MONTERO, H. (2018). La Semiótica del HDR. deSignis. Lo fotográfico: entre analógico y digital. Serie transformaciones. 28, 3º época. pp: 189-197). Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/designis/designis_a2018m1-6n28/designis_a2018n28p189.pdf
- MULLEN, T. (2013). Mastering Blender. New Jersey. Wiley Pub. Disponible en: <https://ucm.on.worldcat.org/v2/oclc/823743074>
- MUÑOZ, C.M. (2020). Recrean en 3D la llanura de Giza y las Pirámides de Egipto. Newsletter.Historia-NationalGeographic. Disponible en: https://historia.nationalgeographic.com.es/a/recrean-3d-llanura-giza-y-grandes-piramides-egipto_15140.
- NASA. Nasa Educational Resources. National Aeronautics and Space Administration. (2009). Our Solar System. Disponible en: <https://www.jpl.nasa.gov/edu/pdfs/ss-high.pdf> (citado en los créditos al final del video del Sistema Solar).
- NICOLAS C., PAILLER Y., STÉPHAN P., PIERSON J., AUBRY L., LE GALL B., LACOMBE V. y ROLET J. (2021). La carte et le territoire : la dalle gravée du Bronze ancien de Saint-Bélec (Leuhan, Finistère). Bulletin de la Société préhistorique française, 118, pp. 99-146.
- OJEDA ZÚJAR, J. (2010). Geovisualización: espacio, tiempo y territorio. Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales (CyTET), 42(165-6), 445-459. Recuperado a partir de: <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/76010>
- PEDDIE, J. (2013). The History of Visual Magis in Computers. How Beautiful Images are Made in CAD, 3D, VR and AR. London. Springer.
- PRIESTNALL, G. (2009). Landscape visualization in fieldwork. Journal of Geography in Higher Education, 33:S1, S104-S112, doi: 10.1080/03098260903034020.
- RUZINOOR, C.M., SHARIFF, A.R.M., PRADHAN, B., RODZI AHMAD, M. y RAHIM, M.S.M. (2012). A review on 3D terrain visualization of GIS data: techniques and software, Geo-spatial Information Science, 15:2, 105-115, doi: 10.1080/10095020.2012.714101. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10095020.2012.714101>
- RUZINOOR C. M., SHARIFF, A.R.M., RODZI AHMAD, M. y PRADHAN, B. (2012). 3D Terrain Visualization for GIS: A Comparison of Different Techniques. 10.1007/978-3-642-12272-9_18. pp. 267-277. En Buchroithner, M. (2012). True-3D in Cartography: Autostereoscopic and Solid Visualisation of Geodata. Luxemburgo. Springer Verlag.

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/233390724_3D_Terrain_Visualization_for_GIS_A_Comparison_of_Different_Techniques

SCHWALBE, E. (2004): “3D building model generation from airborne laserscanner data by straight line detection in specific orthogonal projections”, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 35 (B): 249-254.

SLOCUM, T.A., MCMASTER, R.B., KESSLER, F.C. y HOWARD, H.H. (2009). *Thematic Cartography and Geovisualization*, New Jersey. Pearson/Prentice Hall.

TANARRO, L.M, ÚBEDA, J, DE ANDRÉS, N, FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, J, DE MARCOS, J, OVACO, D, GARCÍA, J. y PALACIOS, D. (2020). Design of three-dimensional cartographical didactic materials for Physical Geography teaching. 6th International Conference on Higher Education Advances (HEAd'20). Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.4995/HEAd20.2020.11195>

TURNER, J. C. (1979). *Matemática moderna aplicada. Probabilidades, estadística e investigación operativa*. Madrid. Alianza Editorial.

VAN GUMSTER, J. (2009). *Blender for Dummies*. New Jersey. Wiley Pub.

VASARI, G. (2010). *Las vidas de los más excelentes arquitectos, pintores y escultores italianos desde Cimabue a nuestros tiempos*. Madrid. Cátedra.

VEPAKOMMA, M. (2014). *Blender compositing and post processing: learn the techniques required to create believable and stunning visuals with blender compositor*. Birmingham. Packt Publishing.

Disponible en: <https://ucm.on.worldcat.org/v2/oclc/868959724>

VIDAL DOMÍNGUEZ, M. J, MORENO JIMÉNEZ, A, y CAÑADA TORRECILLA, R. (2012). Geovisualización avanzada para la exploración de patrones y relaciones socio-ambientales con Sistemas de Información Geográfica: aplicación a la ciudad de Madrid, “*Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*”, N°4, pp. 215-238. Disponible en: https://87538a9a-4129-4498-961e1bc765cd62c3.filesusr.com/ugd/79758e_65e217e768784d4fbe7eb4541e6bdd74.pdf

VILLAR, O. (2014). *Learning Blender: A Hands-On Guide to Creating 3D Animated Characters*. Pearson Education.

Páginas web de consulta y tutoriales:

- 3DCadPortal: <https://www.3dcadportal.com/>
- Astropedia. Lunar and planetary cartographic catalog:
<https://astrogeology.usgs.gov/>
- Blender 2.91 Reference Manual:
<https://docs.blender.org/manual/es/2.91/index.html>
- Blender foundation: <https://www.youtube.com/c/BlenderFoundation/featured>
- Blender support: <https://www.blender.org/support/>
- Canal de Youtube. CG Geek: <https://www.youtube.com/c/CGGeek>
- Canal de Youtube. Carlos Cardona:
<https://www.youtube.com/channel/UCeBkrpUcWfAdaXsN25smO-Q>
- Canal de Youtube. Eme Uve: <https://www.youtube.com/c/EmeUve>
- CGCCookie.com: <https://cgcookie.com/course/learn-the-blender-basics>
- Domlysz. Addon BlenderGIS: <https://github.com/domlysz/BlenderGIS>
- Free 3D: <https://free3d.com/>
- Institute of Cartography and Geoinformation, ETH Zurich. (2014). Terrain models. Obtenido de: <http://www.terrainmodels.com/> [consultado: 18 de agosto de 2021].
- Instituto Nacional de Investigaciones Arqueológicas Preventivas de Francia:
<https://www.inrap.fr/la-plus-ancienne-carte-d-europe-15574>
- Low Poly Nature Pack for Blender:
https://chuckcg.gumroad.com/?sort=page_layout#joGTC
- Mapa interactivo de “The Witcher 3”: <https://thewitcher.com/en/map>
- Museo Arqueológico Nacional de Francia: <https://musee-archeologienationale.fr/>
- Museo Nacional de Baviera: <http://www.bayerisches-nationalmuseum.de/>
- NASA Science: <https://solarsystem.nasa.gov/>

- Sketchfab: <https://sketchfab.com/3d-models/witcher-novigrad-city-0a987ce658ad4aca81a1e44c1cd68905>
- Stop Disasters Game. UNDRR: <https://www.stopdisastersgame.org/>

Comunidades:

- Blender.Hoy: <https://blender.community/c/hoy/?sorting=hot>
- BlenderNation: <https://www.blendernation.com/>
- Blender.Today: <https://blender.community/c/today/?sorting=hot>
- Reddit/Blender: <https://www.reddit.com/r/blender/>

Páginas web de descarga:

- Texturas y HDRI:
 - 3D Textures: <https://3dtextures.me/>
 - CC0 Textures: <https://ambientcg.com/>
 - CGbookcase: <https://www.cgbookcase.com/>
 - Free PBR: <https://freepbr.com/>
 - Poliigon: <https://www.poliigon.com/>
 - Sketchup Textures: <https://www.sketchuptextureclub.com/>
 - Solar System Scope: <https://www.solarsystemscope.com/>
 - Texture Haven: <https://polyhaven.com/>
- Objetos 3D:
 - Cgtrader: <https://www.cgtrader.com/>
 - Free3D: <https://free3d.com/>
 - NASA 3D Resources: <https://nasa3d.arc.nasa.gov/models>
 - Open3DModel: <https://open3dmodel.com/>
 - Sketchfab: <https://sketchfab.com/>
 - TurboSquid: <https://www.turbosquid.com/>

- Add-on:
 - BlenderGIS: <https://github.com/domlysz/BlenderGIS>
- Música video:
 - Mass Effect - Uncharted Worlds.mp3.
Mass Effect Original Soundtrack.
Composed by: Sam Hulick, 2007.

7. Anexos

- **Recreación virtual de paisaje marciano**



Figura 1. Vista zona de paso entre montañas.

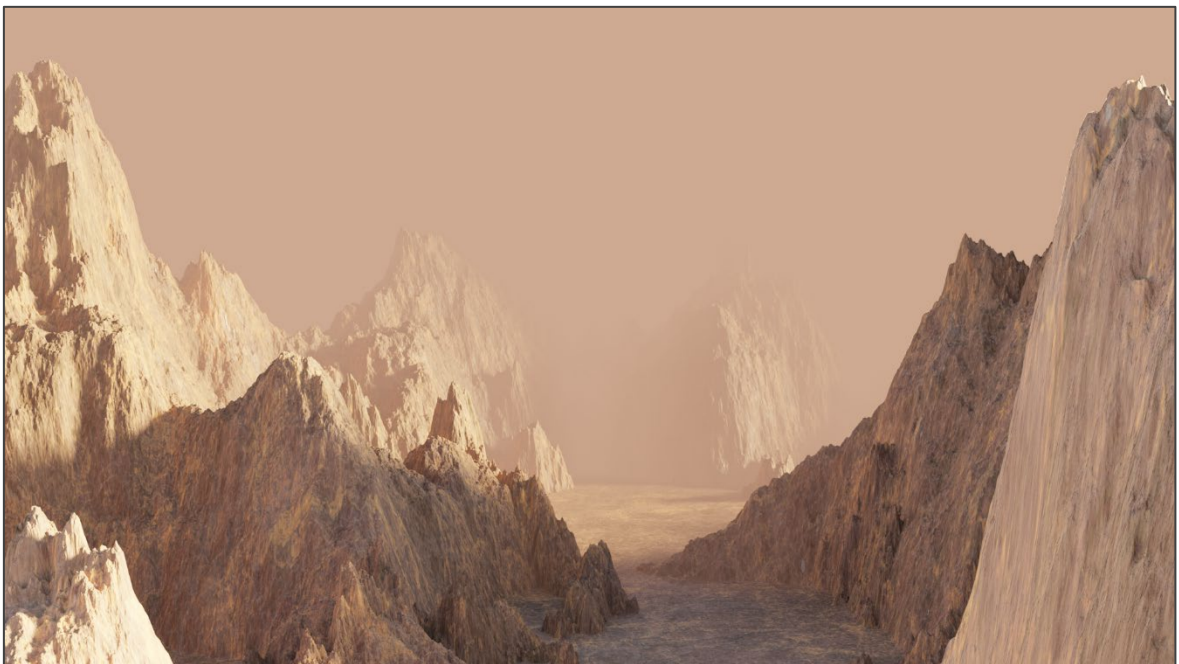


Figura 2. Vista de zona de paso entre montañas con niebla en tonos rojizos.



Figura 3. Vista de zona de paso entre montañas con niebla en tonos verdosos.

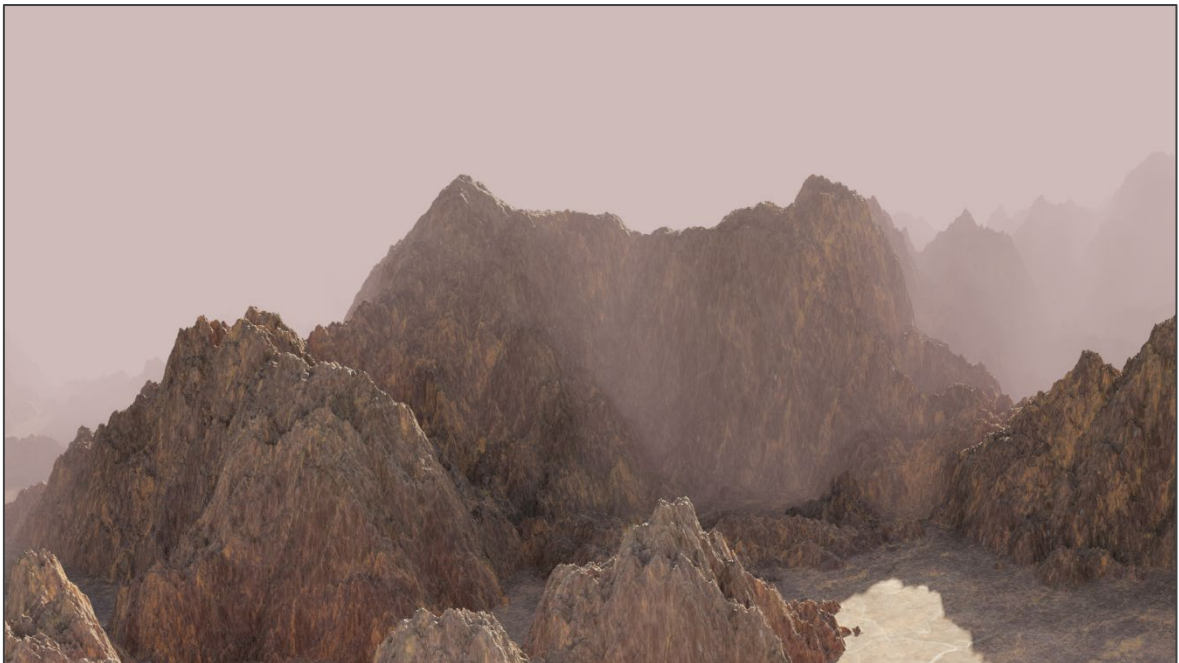


Figura 4. Vista de zona montañosa con niebla (atardecer).



Figura 5. Vista zona pantanosa (amanecer).

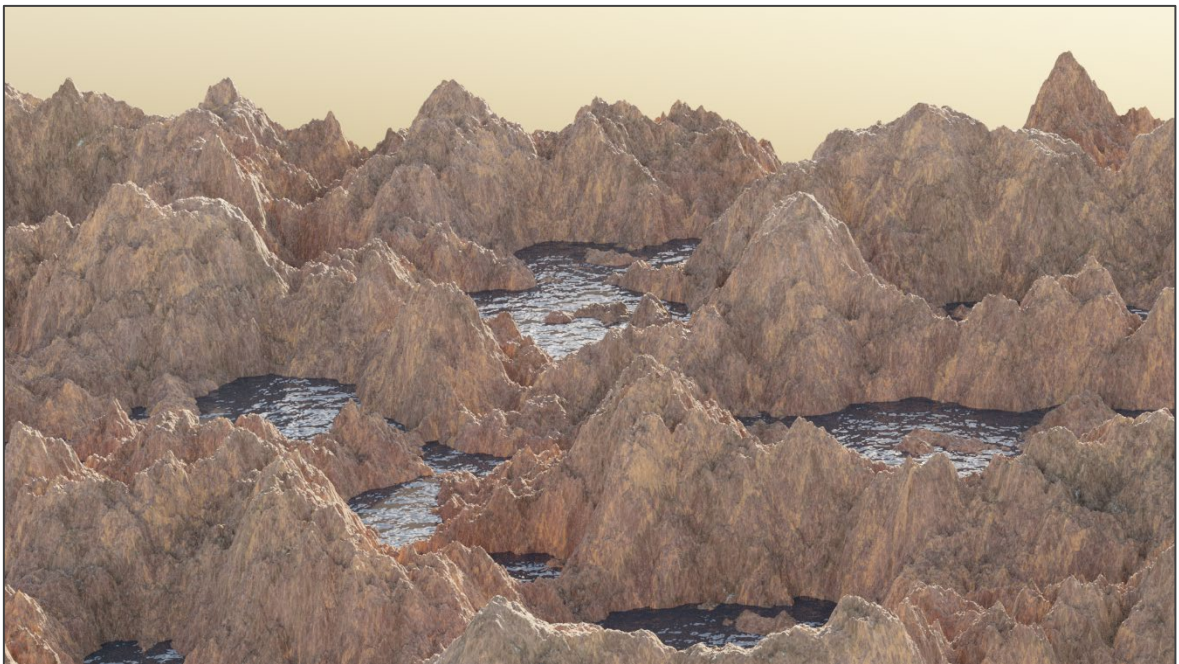


Figura 6. Vista zona pantanosa (atardecer).



Figura 7. Vista zona pantanosa con efecto niebla en tonos rojizos.



Figura 8. Vista zona pantanosa con efecto niebla en tonos verdosos.

- **Recreación de paisaje virtual natural y estructura arquitectónica**

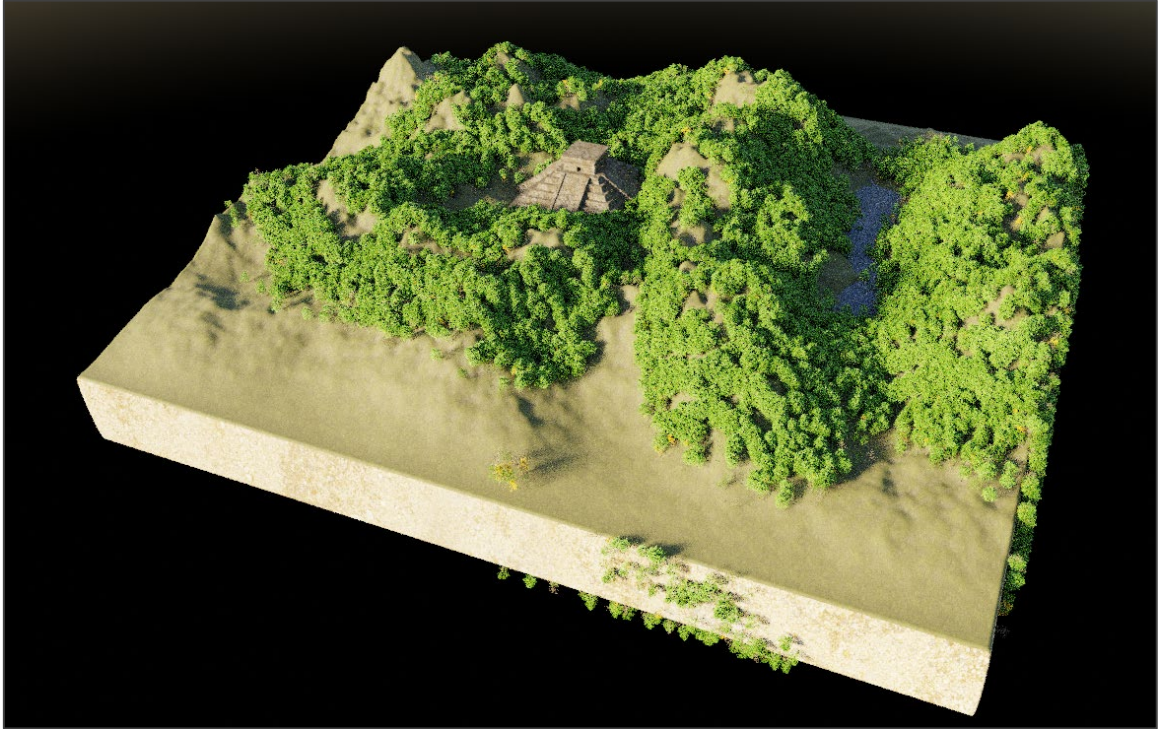


Figura 9. Vista general del modelo 3D con arbolado.



Figura 10. Vista cenital del bosque con estructura piramidal (izda.) y laguna (dcha.).



Figura 11. Vista isométrica de la zona de bosque, pirámide maya y área de la laguna (mediodía).



Figura 12. Vista isométrica de la zona de bosque, pirámide maya y área de la laguna (atardecer).

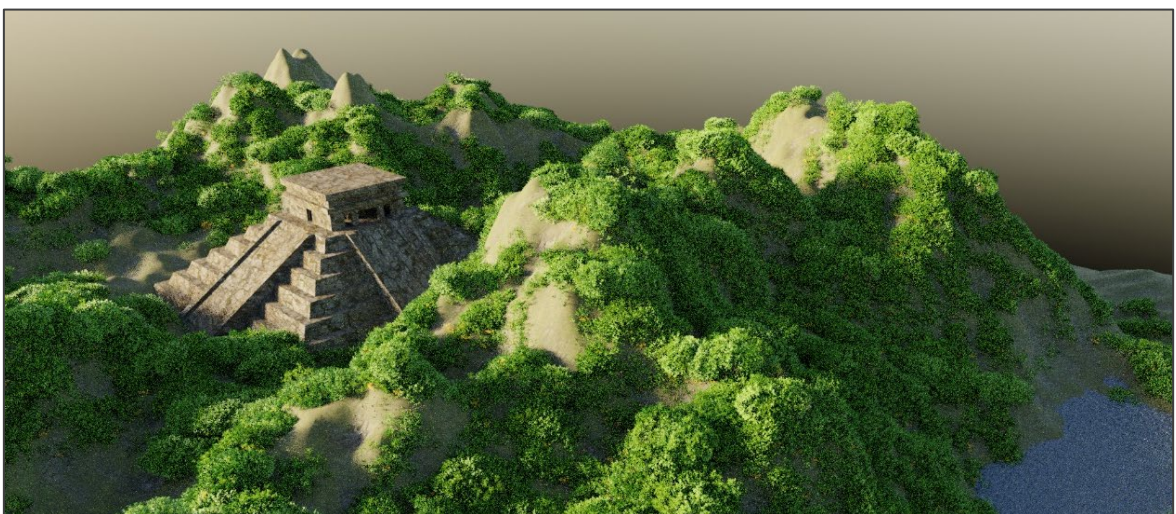


Figura 13. Detalle de pirámide maya y laguna.

- **Obtención del modelo 3D a través del complemento “BlenderGIS”**

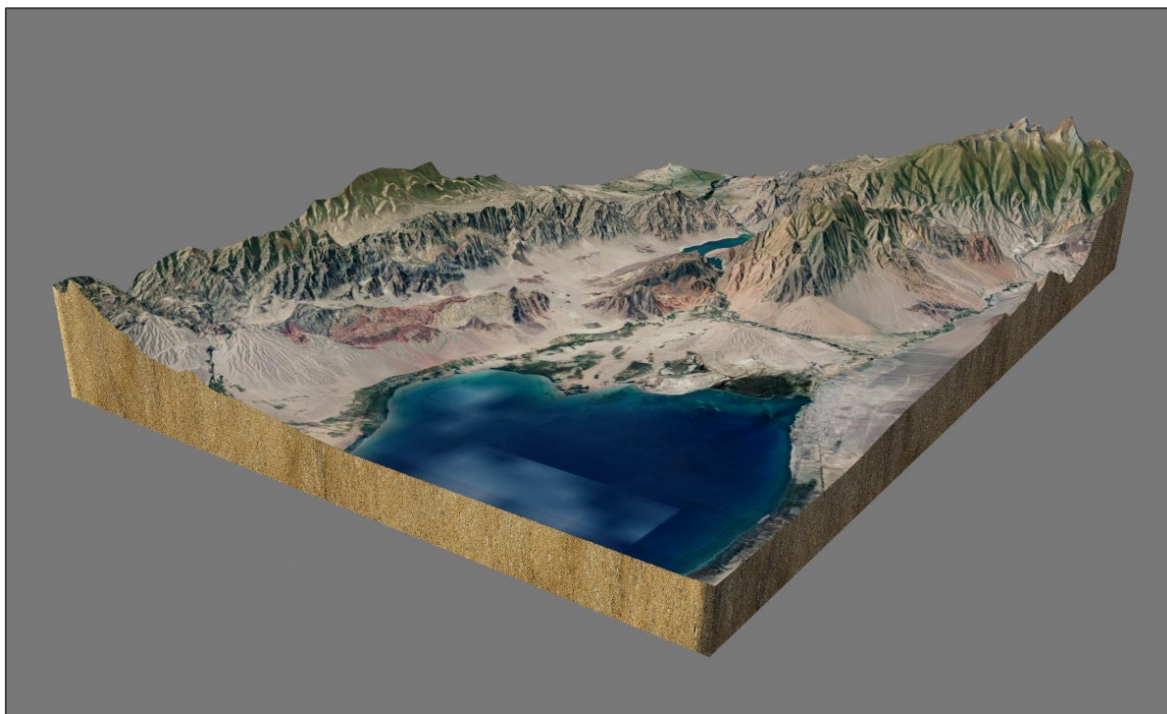


Figura 14. Vista del modelo 3D desde el área noreste del lago Issyk Kul (Kirguistán).

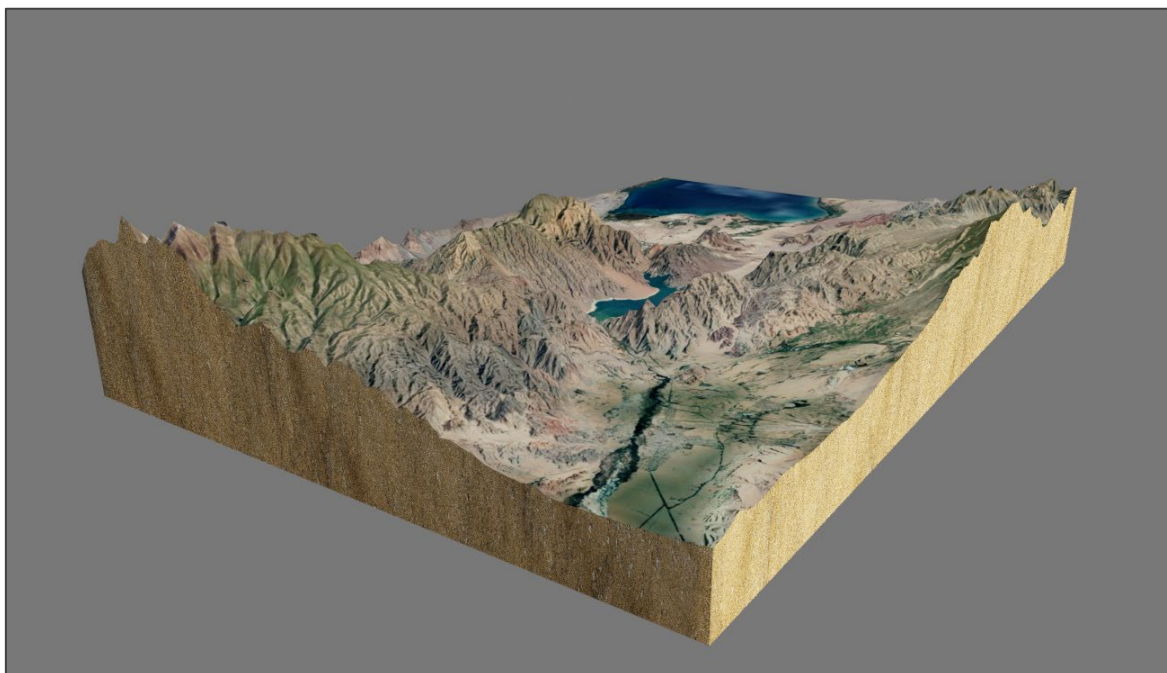


Figura 15. Vista del modelo 3D desde el área oeste del lago Issyk Kul (Kirguistán).



Figura 16. Vista en detalle del área este del lago Issyk Kul (Kirguistán).



Figura 17. Vista en detalle del área del lago Song Kol.

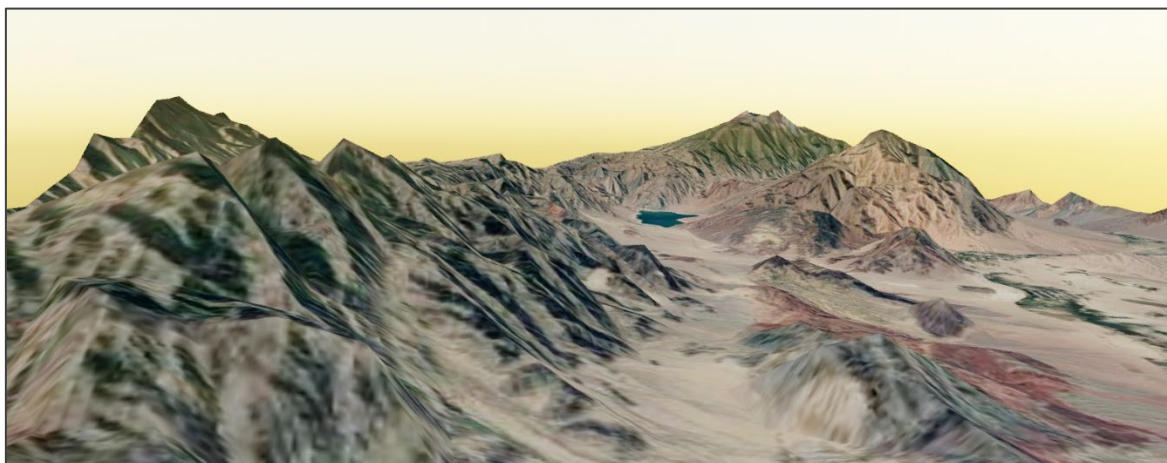


Figura 18. Vista en detalle desde el área sureste del lago Issyk Kul (Kirguistán).

- **Modelización 3D del Sistema Solar**

Planos que componen la muestra audiovisual:



Plano 1a.



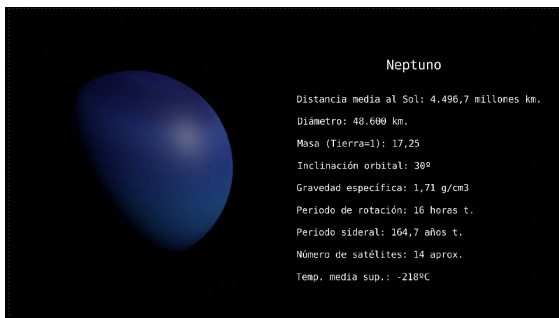
Plano 1b.



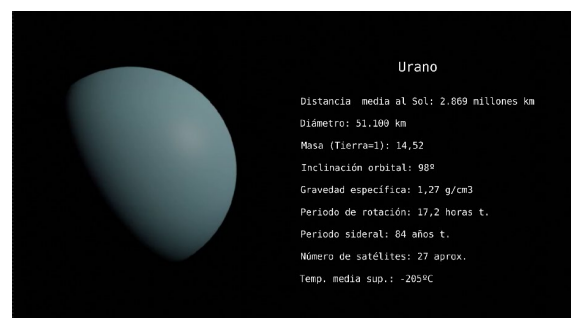
Plano 2.



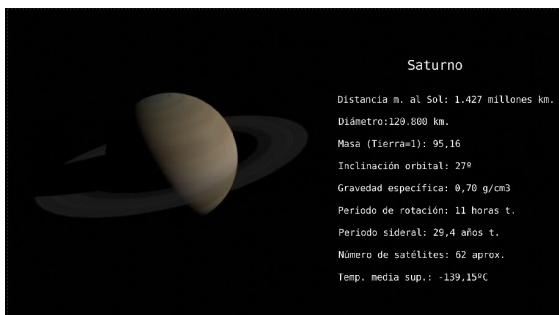
Plano 3.



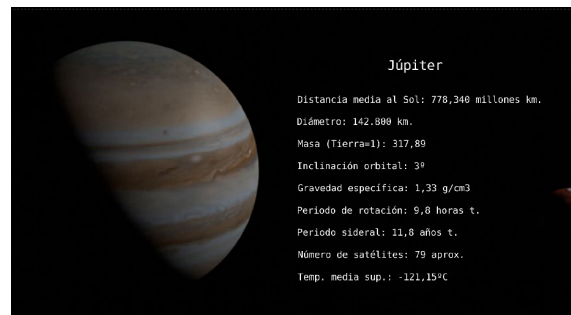
Plano 4.



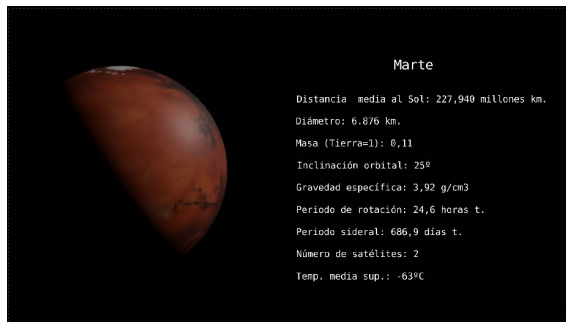
Plano 5.



Plano 6.



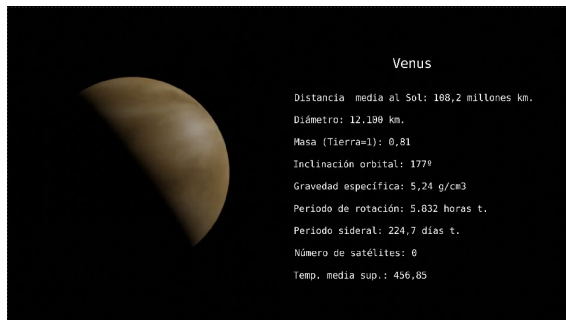
Plano 7.



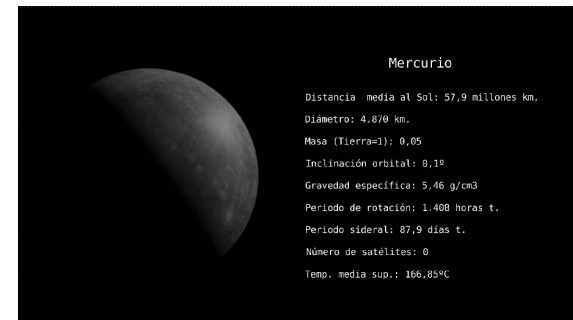
Plano 8.



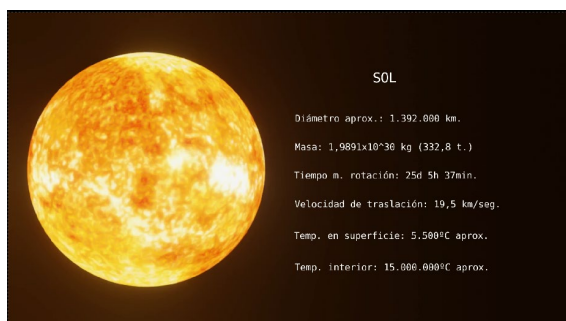
Plano 9.



Plano 10.



Plano 11.



Plano 12.



Plano 13.